
NORMA CUBANA

NC

ISO 2808: 2010
(Publicada por la ISO en 2007)

**PINTURAS Y BARNICES — DETERMINACIÓN DEL ESPESOR
DE PELÍCULA
(ISO 2808:2007, IDT)**

Paints and varnishes — Determination of film thickness

ICS: 77.060; 87.020

1. Edición Mayo 2010
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana. Cuba. Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048; Correo electrónico: nc@ncnorma.cu; Sitio Web: www.nc.cubaindustria.cu



Cuban National Bureau of Standards

NC-ISO 2808: 2010

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba y representa al país ante las organizaciones internacionales y regionales de normalización.

La elaboración de las Normas Cubanas y otros documentos normativos relacionados se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. Su aprobación es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en las evidencias del consenso.

Esta Norma Cubana:

- Ha sido elaborada por el comité técnico designado NC/CTN 41 Pinturas y Barnices, integrado por representantes de las entidades siguientes:

CIIQ
MINBAS
Ministerio de la Industria Alimenticia
Ministerio de la Industria Ligera
Ministerio del Comercio Exterior
Ministerio de la Industria Pesquera
Ministerio del Transporte
MINFAR
Ministerio de la Industria Sideromecánica y la Electrónica

GEIQ
Empresa de Pinturas Vitral
Corporación CIMEX S.A
FERCIMEX S.A.
ONN
ABATUR S.A.
CNIC
ENSUNA S.A.

Es una adopción idéntica por el método de traducción de la ISO 2808:2007 *Paints and varnishes. Determination of film thickness*

Esta norma sustituye a la NC 12-04-19:1981 SNPCC. Recubrimientos de pinturas y barnices. Determinación del espesor

© NC, 2010

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada en alguna forma o por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias, fotografías y microfilmes, sin el permiso escrito previo de:

Oficina Nacional de Normalización (NC)

Calle E No. 261, Vedado, Ciudad de La Habana, Habana 4, Cuba.

Impreso en Cuba.

Índice

0	Introducción.....	5
1	Objeto y campo de aplicación	6
2	Normas para consulta	6
3	Términos y definiciones.....	6
4	Determinación del espesor de película húmeda.....	8
4.1	Generalidades	8
4.2	Métodos mecánicos.....	8
4.3	Método gravimétrico.....	12
4.4	Método fototérmico.....	13
5	Determinación del espesor de película seca.....	15
5.1	Generalidades	15
5.2	Métodos mecánicos.....	15
5.3	Método gravimétrico.....	23
5.4	Métodos ópticos.....	23
5.5	Métodos magnéticos	27
5.6	Método radiológico	31
5.7	Método fototérmico.....	32
5.8	Método acústico	34
6	Determinación del espesor de las capas de pintura en polvo antes de su curado.....	36
6.1	Generalidades	36
6.2	Método gravimétrico.....	36
6.3	Métodos magnéticos	36
6.4	Método fototérmico.....	38
7	Medida del espesor de película sobre superficies rugosas	39

7.1 Generalidades 39

7.2 Aparato y materiales..... 40

7.3 Procedimiento 41

8 Informe de ensayo 41

Anexo A 43

Bibliografía..... 46

0 Introducción

La medición del espesor de película consta de las siguientes etapas:

a) calibración del instrumento de medida, generalmente llevada a cabo por el fabricante o por un laboratorio cualificada;

b) verificación del instrumento (una verificación de la exactitud llevada a cabo por el usuario a intervalos regulares, generalmente antes de cada serie de mediciones);

c) posterior ajuste, si es necesario, del instrumento para igualar las lecturas a los valores de un patrón de espesor conocido.

Para un instrumento de medida de película seca, esto significa la puesta a cero sobre una superficie no pintada, usar artículos de espesor conocido, como láminas, o usar patrones pintados con un espesor de película conocido:

d) medición.

PINTURAS Y BARNICES — DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE PELÍCULA

1 Objeto y Campo de Aplicación

Esta Norma Cubana describe una serie de métodos dirigidos a la medición de espesor de los recubrimientos aplicados sobre un sustrato. Se describen métodos para la determinación del espesor de la película húmeda, el espesor de la película seca y el espesor de película de las capas de recubrimiento en polvo antes de su curado. Cuando existan, se hace referencia a normas particulares. Si no es así, se describe el método de manera detallada.

En el anexo A se muestra un resumen general de los métodos, donde se especifica el campo de aplicación, las normas existentes y los datos de precisión para los métodos de manera individualizada.

Esta Norma Cubana también define los términos relativos a la determinación del espesor de película.

2 Normas para Consulta

Las normas que a continuación se relacionan son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

ISO 463 Especificación de Productos (GPS). Equipos de medición dimensional. Diseño y características petrológicas de relojes comparadores mecánicos.

ISO 3611 Micrómetros de exteriores.

NC ISO 4618:2009 Pinturas y barnices. Términos y definiciones.

ISO 8503-1 Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines. Características de rugosidad de los sustratos de acero chorreados. Parte 1: Especificaciones y definiciones relativas a las muestras ISO de comparación táctil-visual para la evaluación de superficies preparadas mediante proyección de agentes abrasivos.

3 Términos y Definiciones

Para los fines de esta norma, son aplicables los siguientes términos y definiciones así como los incluidos en la Norma NC ISO 4618.

3.1 sustrato

Superficie sobre la cuál se aplica o se va a aplicar un material de recubrimiento.

[NC ISO 4618:2009]

3.2 recubrimiento

Película continua formada en una aplicación única o múltiple de un material de recubrimiento sobre un sustrato.

[NC ISO 4618:2009]

3.3 espesor de película

Distancia entre la superficie de la película y la superficie del sustrato.

3.4 espesor de la película húmeda

Espesor de una capa de material de recubrimiento recién aplicada, medida inmediatamente después de la aplicación.

3.5 espesor de la película seca

Espesor de un recubrimiento que permanece en la superficie una vez que el recubrimiento se ha endurecido.

3.6 espesor de la capa de recubrimiento en polvo sin curar

Espesor de la capa de material de recubrimiento en polvo recién aplicada, medida inmediatamente después de la aplicación y antes del curado en estufa.

3.7 área superficial relevante ¹⁾:

Parte de un elemento recubierto o que será recubierto por el recubrimiento y para el cuál el recubrimiento es esencial para su funcionamiento o por su aspecto.

3.8 área de ensayo ¹⁾:

Parte representativa del área superficial relevante dentro de la cuál se realizan un número acordado de mediciones individuales como comprobación puntual.

3.9 área de medida ¹⁾:

Área sobre la cual se realiza una medición individual.

3.10 mínimo espesor de película local ¹⁾:

Menor valor del espesor de película local encontrado en el área superficial relevante de una probeta de ensayo concreta.

3.11 máximo espesor de película local ¹⁾:

Mayor espesor de película local encontrado en el área superficial relevante de una probeta de ensayo concreta.

3.12 espesor de película¹⁾:

Media aritmética de todos los espesores de película seca individuales en el área de ensayo o el resultado de la determinación gravimétrica del espesor.

3.13 calibración

Proceso controlado y documentado de medida de patrones de calibración con trazabilidad, y verificación de que los resultados están dentro de la precisión establecida del instrumento de medida.

NOTA: La calibración inicial la lleva a cabo, normalmente, el fabricante del instrumento o en su lugar un laboratorio cualificado en un ambiente controlado utilizando un proceso documentado. Esta calibración inicial se verificará regularmente por el usuario a intervalos regulares. Los patrones utilizados en la calibración se eligen de manera que las incertidumbres combinadas de la medida resultante sean menores que la precisión establecida del instrumento.

¹ La medición de esta propiedad sólo se requiere en el caso de una evaluación extendida de las medidas del espesor de película, véanse los puntos K) 9 y l) del capítulo 8 (informe de ensayo)

3.14 verificación

Comprobación de la precisión, llevada a cabo por el usuario utilizando patrones de referencia.

3.15 patrones de referencia

Espécimen de espesor conocido frente al cual se puede verificar la precisión del instrumento de medida.

NOTA: Los patrones de referencia pueden ser patrones de espesor recubiertos, o láminas. Si se acuerda por las partes contratantes, se puede utilizar una parte de la probeta de ensayo como un patrón de referencia para un trabajo concreto.

3.16 ajuste:

Hecho de alinear las lecturas de medidas de espesor obtenidas de los instrumentos de medida para que coincidan con los del patrón de referencia.

NOTA: La mayoría de los instrumentos de medida electrónicos se pueden ajustar sobre un patrón de espesor o sobre una lámina, de los que se conoce el espesor del recubrimiento o de la lámina.

3.17 precisión:

Concordancia entre un valor medido y el valor real del espesor del patrón.

4 Determinación del espesor de película húmeda

4.1 Generalidades

El Anexo A ofrece un resumen de los métodos utilizados para la determinación del espesor de películas húmedas.

4.2 Métodos mecánicos

4.2.1 Fundamento del método

En todos los métodos mecánicos, la superficie del sustrato entra en contacto con parte del instrumento de medida a través del recubrimiento, y la superficie del recubrimiento está en contacto de manera simultánea (véase la figura 1) o posteriormente (véanse las figuras 2 y 3) con otra parte del instrumento.

El espesor de la película húmeda es la diferencia de altura entre esos dos puntos de contacto, que puede ser leída directamente.

4.2.2 Campo de aplicación

El fundamento del método mecánico es adecuado para todas las combinaciones de película y sustrato. El sustrato ha de ser plano o al menos una de las direcciones del área donde se realiza la medida. Se permite la curvatura de la superficie en un único plano (por ejemplo, la superficie interna o externa de las tuberías).

4.2.3 Generalidades

La clasificación como un método destructivo o no destructivo depende de:

- a) las propiedades reológicas del material de recubrimiento;
- b) la naturaleza del contacto húmedo entre las superficies de contacto del instrumento de medida y el material de recubrimiento;
- c) si las medidas de espesores provocarán que el recubrimiento deje de ser adecuado para cumplir su función.

Ya que no se puede excluir la posibilidad de que partículas del pigmento queden entre la galga y el sustrato, todos los métodos mecánicos contienen un error sistemático: el espesor de película húmedo real en, al menos, el diámetro de las partículas de pigmento.

En el caso de una rueda (método IB, véase el apartado 4.2.5), la rueda ha de ser humectada por el material de recubrimiento. En caso contrario, se induce a un error sistemático adicional que puede provocar lecturas exageradas y es función de:

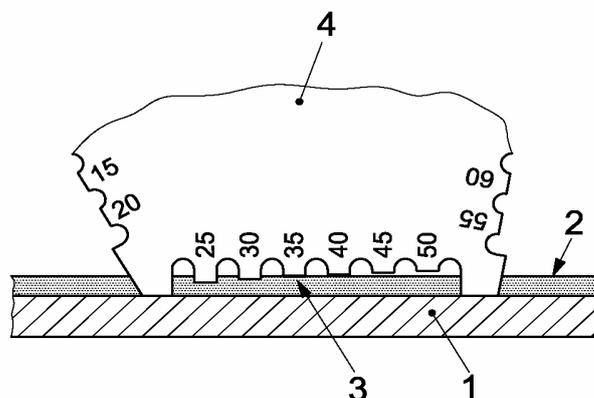
- la tensión superficial y las propiedades reológicas del material de recubrimiento;
- el material de la rueda;
- la velocidad a la que gira la rueda.

4.2.4 Método 1 A – Peine

4.2.4.1 Descripción del instrumento

El peine es una pieza plana de material resistente a la corrosión con muescas a lo largo de sus bordes (véase la figura 1). Los dientes de referencia de los extremos del peine definen una línea base a lo largo de la cual se encuentran los dientes interiores para mostrar una serie graduada de aberturas. Cada diente está marcado con el valor asignado de la distancia existente hasta la línea base.

Normalmente, con los peines disponibles comercialmente el espesor máximo que se puede medir es 2 000 μm y el incremento más pequeño es 5 μm .



- Leyenda
- 1 sustrato
 - 2 recubrimiento
 - 3 punto de contacto húmedo
 - 4 peine

Figura 1 — Ejemplo de peine

4.2.4.2 Procedimiento

Se ha de comprobar que los dientes estén limpios y que no estén ni desgastados ni dañados. Se coloca el peine sobre la superficie plana de la probeta de ensayo de forma que los dientes estén perpendiculares al plano de la superficie. Se deja el tiempo suficiente para que el recubrimiento moje los dientes antes de retirar la galga.

En el caso de sustratos curvos con un único plano, el peine se debe colocar en posición paralela al eje de curvatura.

El resultado de la medición de espesor depende del tiempo de medición. Por tanto, el espesor se debería medir tan pronto como sea posible después de la aplicación.

Se toma nota de la lectura del diente de mayor abertura mojado por el material de recubrimiento como medida del espesor de la película húmeda.

4.2.5 Método 1 B – Rueda

4.2.5.1 Descripción del instrumento

La rueda consiste en una rueda, fabricada en acero endurecido y resistente a la corrosión, con tres aros salientes (véase la figura 2)

Dos aros del mismo diámetro se configuran de manera concéntrica al eje de la rueda. El tercer aro tiene un diámetro más pequeño y está unido de manera excéntrica. Uno de los aros exteriores tiene una escala donde se puede leer la proyección respectiva de los aros concéntricos relativos al aro excéntrico.

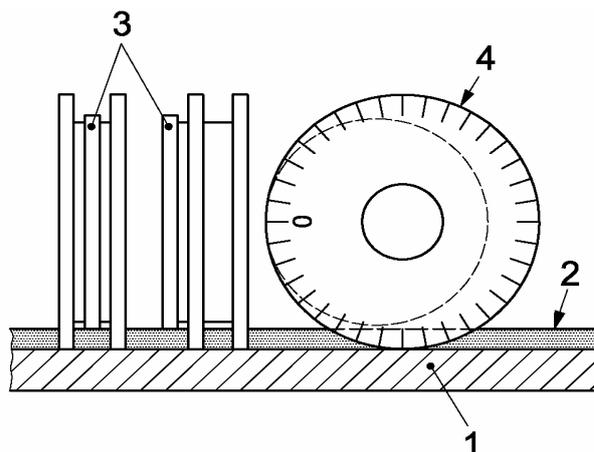
Existen dos versiones:

— la versión 1, tiene el aro excéntrico entre los aros concéntricos

— la versión 2, tiene el aro excéntrico colocado fuera de los aros concéntricos y juntos a uno de ellos.

NOTA A diferencia de la versión 1, el diseño de la versión 2 permite la lectura del espesor de la película húmeda sin paralaje.

Normalmente, con las ruedas excéntricas comerciales, el espesor máximo que se puede medir es 1 500 μm . y el incremento menor es 2 μm .



Leyenda
1 sustrato
2 recubrimiento
3 aro excéntrico
4 rueda

Figura 2 — Ejemplo de rueda

4.2.5.2 Procedimiento

Se sujeta la rueda con los dedos pulgar e índice por el eje de la rueda y se presionan los aros concéntricos contra la superficie en el punto más elevado de lectura de la escala.

En el caso de probetas curvas en un solo plano, el eje de curvatura y el eje de la rueda deben estar en disposición paralela.

Se gira la rueda en una dirección, se levanta de la superficie y se lee el valor más elevado en donde la rueda excéntrica este todavía mojado por el material de recubrimiento. Se limpia el aparato y se repite en la dirección contraria.

Se calcula el espesor de película húmeda como la medida aritmética de estas lecturas.

El resultado de la medida del espesor depende del tiempo de medida. Por lo tanto, el espesor se debería medir tan pronto como sea posible después de la aplicación.

Para minimizar el efecto de la tensión superficial sobre el resultado, se observa como moja la pintura el aro excéntrico y se registra la lectura de la escala en el primer punto de contacto. Esto sólo es posible con la versión 2 de la rueda.

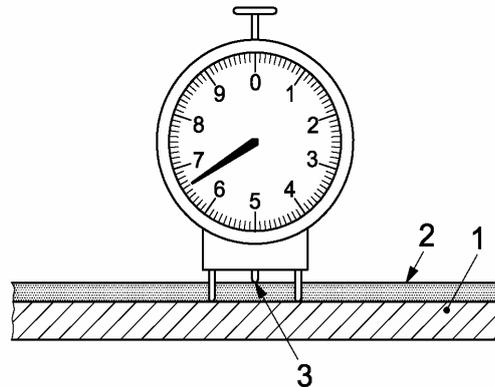
4.2.6 Método 1C — Micrómetro de esfera

4.2.6.1 Instrumento y patrones de referencia

4.2.6.1.1 Micrómetro de esfera (véase la figura 3)

Los aparatos equipados con micrómetros de esfera mecánicos conformes a los requisitos de la Norma ISO 463 y los equipados con micrómetros de esfera electrónico son capaces, normalmente, de medir con una precisión de 5 μm (con micrómetro de esfera mecánico) o 1 μm (con micrómetro de esfera electrónico), o superior. El aparato puede tener un lector digital o analógico.

La parte inferior del micrómetro de esfera tiene dos clavijas metálicas de igual longitud y localizadas equidistantes a un émbolo móvil y alineado respecto al mismo. Se utiliza un tornillo ajustable para realizar el ajuste preciso de la posición del émbolo en su recorrido.



Leyenda
 1 sustrato
 2 recubrimiento
 3 émbolo

Figura 3 — Ejemplo de un micrómetro de esfera

4.2.6.1.2 Patrón de referencia para medir la posición cero del micrómetro.

Para medir la posición cero del micrómetro se requiere una placa de referencia. La placa de referencia debe consistir en una placa de vidrio plana cuya tolerancia de planitud no exceda $1 \mu\text{m}$ (véase también la Norma ISO 1101 ^[1]).

4.2.6.2 Procedimiento

Se mide la posición cero del micrómetro en la placa de referencia con el émbolo medidor ajustado de tal manera que esté tocando justo la placa.

Se desenrosca el émbolo de la posición cero. Se colocan las clavijas de contacto del aparato sobre la probeta de ensayo de manera que estén perpendiculares a la superficie de sustrato y con cuidado se vuelve a enroscar el émbolo de tal manera que el extremo medidor roce el material de recubrimiento.

El resultado de la medida del espesor depende del tiempo de medida. Por lo tanto, el espesor se debería medir tan pronto como sea posible después de la aplicación.

Se toma la lectura del espesor de la película húmeda directamente de la esfera del micrómetro.

4.3 Método gravimétrico

4.3.1 Fundamento del método

Se aplica un recubrimiento y se determina el espesor dividiendo la masa del recubrimiento por su densidad y por el área de la superficie recubierta.

El espesor de película húmeda, tw , en micrómetros, se calcula a partir de la ecuación:

$$tw = \frac{m - m_0}{A \cdot \rho}$$

Donde:

m_0 es la masa, en gramos, de la probeta de ensayo sin recubrir;

m es la masa, en gramos, de la probeta de ensayo recubierta;

A es el área, en metros cuadrados, de la superficie recubierta

ρ es la densidad, en gramos por mililitro, del material de recubrimiento líquido aplicado.

NOTA: La densidad del material de recubrimiento líquido aplicado se puede determinar según lo indicado en las Normas ISO 2811-1, ISO 2811-2, ISO 2811-3 e ISO 2811-4.

4.3.2 Campo de aplicación

El fundamento del método gravimétrico se puede aplicar generalmente, siempre que la cantidad de sustancias muy volátiles en el material de recubrimiento líquido sea baja.

4.3.3 Generalidades

La determinación mediante el método gravimétrico conduce al valor medio del espesor de película húmeda sobre la totalidad del área de la superficie recubierta. Para las aplicaciones mediante pulverización en concreto, se debe proteger el reverso de la probeta de ensayo mediante una máscara para prevenir errores de medida que resulten del recubrimiento parcial del mismo por un exceso de pulverización. Se debe retirar cualquier máscara del reverso antes de pesar la probeta de ensayo recubierta.

4.3.4 Método 2 – Por diferencia de masa

4.3.4.1 Aparato

Se requieren balanzas para pesar hasta 500 g con una precisión de 1 mg.

4.3.4.2 Procedimiento

Se pesa la probeta de ensayo primero sin recubrir y luego recubierta, y se calcula el espesor de película húmeda utilizando la ecuación (1).

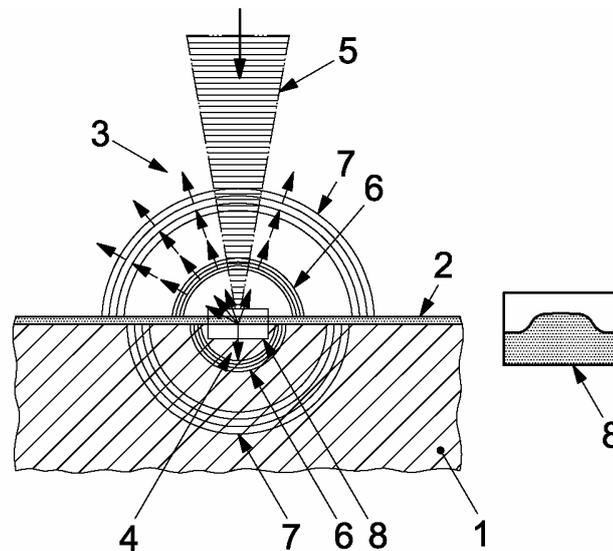
4.4 Método fototérmico

4.4.1 Fundamento del método

El espesor de película se determina por diferencia entre el tiempo en que una onda térmica se irradia hacia el recubrimiento y el tiempo en que se detecta la onda re-emitida (térmica o ultrasónica) (véase la figura 4).

Sin importar el tipo de excitación de la que se trate o del método de detección, todos los métodos foto térmicos utilizan el mismo fundamento: la introducción de energía de forma periódica o mediante pulsos en forma de calor dentro de la probeta de ensayo y la detección posterior de un incremento de temperatura localizada.

Se compara la diferencia de tiempo medida frente a valores obtenidos con el mismo instrumento para películas de espesor conocido bajo unas condiciones determinadas (energía de excitación, longitud de pulso, frecuencia de la excitación, etc. (véase el apartado 4.4.4.2).



Leyenda

- 1 sustrato
- 2 recubrimiento
- 3 radiación térmica re-emitida
- 4 absorción de la radiación por radiación térmica
- 5 radiación térmica
- 6 ondas térmicas
- 7 ondas de ultrasonidos
- 8 deformación superficial

Figura 4 – Interacción de la radiación con la probeta de ensayo en las medidas foto-térmicas del espesor, mostrando la deformación superficial

4.4.2 Campo de aplicación

El fundamento del método fototérmico básicamente es adecuado para todo tipo de combinaciones de película-sustrato. Se puede utilizar también para determinar los espesores de las capas individuales en un sistema multi-capa, siempre y cuando las capas se diferencien suficientemente entre ellas en cuanto a su conductividad térmica y sus propiedades reflectoras.

El espesor mínimo requerido del sustrato es función del sistema de medida utilizado (véase el apartado 4.4.4.1.1) y la combinación del sustrato con la película.

4.4.3 Generalidades

La clasificación del método como destructivo o no destructivo depende del fin previsto para el recubrimiento. La energía térmica absorbida por el recubrimiento puede tener un impacto en el recubrimiento debido al efecto térmico localizado que provoca (véase el punto 8 en la figura 4).

4.4.4 Método 3 – Determinación mediante el uso de las propiedades térmicas

4.4.4.1 Instrumento y patrones de referencia

4.4.4.1.1 Sistema de medida

Existen varios métodos para producir ondas térmicas sobre un material de recubrimiento y detectar los efectos térmicos inducidos en un área concreta de la probeta de ensayo (véase la Norma EN 15042-2 ^[18]). Para los recubrimientos a base de pintura se utilizan principalmente las fuentes de radiación térmica (por ejemplo: fuentes láser, diodos emisores de luz, fuentes de luz incandescentes) como sistemas de excitación.

Se utilizan los siguientes métodos de detección:

- detección de la radiación térmica re-emitida (radiometría fototérmica);
- detección del cambio en el índice de refracción (del aire caliente situado encima del área de medida);
- detección piroeléctrica (medida del flujo térmico).

4.4.4.1.2 Patrones de referencia

Con el objeto de realizar la calibración se requieren unas probetas de ensayo de referencia con propiedades de absorción diferentes y de un rango de espesores de película diferentes (véase EN 15042-2 ^[18]).

4.4.4.2 Calibración

Se calibra el aparato de medida con los patrones de referencia (véase el apartado 4.4.4.2) para cada combinación de película-sustrato (en concreto para cada material de recubrimiento).

4.4.4.3 Procedimiento

Se mide el espesor de película utilizando el aparato y siguiendo las instrucciones del fabricante.

5 DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE PELÍCULA SECA

5.1 Generalidades

El anexo A muestra un resumen de los métodos utilizados para la determinación del espesor de película seca.

5.2 Métodos mecánicos

5.2.1 Fundamento del método

Se utiliza un micrómetro de esfera (método 4^a, véase el apartado 5.2.4) para medir el espesor de película como la diferencia entre el espesor total (sustrato + película) y el espesor del sustrato.

Se puede determinar el espesor de película de dos maneras:

a) Se realizan las medidas antes y después de eliminar el recubrimiento (destrutivo). Se mide primero el espesor total en un área de medida definida y a continuación, después de que haya retirado el recubrimiento del área de medida se mide el espesor del sustrato.

b) Se realizan las medidas antes y después de aplicar el recubrimiento (no destructivo). Se mide primero el espesor del sustrato y a continuación el espesor total. Se mide el espesor total en la misma área de medida después de su recubrimiento.

El espesor de la película se obtiene de la diferencia entre las dos lecturas.

Un palpador de profundidad (método 4B, véase el apartado 5.2.5) o un medidor de perfiles (método 4C, véase el apartado 5.2.6) permiten la determinación del espesor de película directamente como la diferencia en altura entre la superficie de película y la superficie del sustrato expuesto.

NOTA: Únicamente la versión “eliminación del recubrimiento” sería posible para la utilización de un palpador de profundidad o un medidor de perfiles (véanse los métodos 4 B y 4 C)

5.2.2 Campo de aplicación

El fundamento del método mecánico es adecuado básicamente para todas las combinaciones película-sustrato. En los casos en que se utilicen láminas, el sustrato y el recubrimiento deben ser lo suficientemente duros como para prevenir que la lectura se falsee como resultado de que el extremo del émbolo medidor provoque una indentación.

El micrómetro de exteriores o el micrómetro de esfera (método 4 A) son también adecuados para medir el espesor de la película de probetas cilíndricas de sección transversal circular (por ejemplo, cables, tuberías).

Se reconoce el medidor de perfiles (método 4C) como el método de arbitraje en caso de disputas.

5.2.3 Generalidades

En la versión “aplicación del recubrimiento”, se utiliza una plantilla con agujeros identificados, para asegurar que la determinación del espesor del sustrato y del espesor total se lleva a cabo exactamente en los mismos puntos.

NOTA 1: En el caso de sustratos de plástico se prefiere la versión “aplicación del recubrimiento”, ya que en la mayoría de los casos no se puede exponer sin provocar daños al sustrato.

En la versión “eliminación del recubrimiento”, las áreas de medida se deben rodear e identificar. El recubrimiento se debe retirar completamente y con cuidado en las áreas de medida sin dañar el sustrato de manera mecánica o química. El sustrato se puede enmascarar parcialmente utilizando cinta adhesiva antes de que se aplique el recubrimiento para obtener capas bien diferenciadas entre ellas.

Para el caso de los palpadores de profundidad y del medidor de perfiles (métodos 4B y 4C), el recubrimiento que no se ha eliminado en la región del área de medida se debe mantener inalterado.

En el caso del medidor de perfiles (método 4C), el hombro formado entre el sustrato y la superficie de la película debe estar suficientemente bien definido.

Con sustratos duros (por ejemplo, vidrio) el recubrimiento se puede quitar de manera mecánica, pero con sustratos menos duros (por ejemplo, acero) el recubrimiento se debe eliminar químicamente utilizando un disolvente o un decapante.

NOTA 2: En el caso de sustratos de materiales menos duros, como el acero, la película se puede atravesar con un taladro de corona de un diámetro de 10 mm y el disco del recubrimiento se retira con un disolvente o un decapante

Todas las superficies (recubrimiento, sustrato, reverso de la probeta de ensayo) que se han de poner en contacto o medir con el micrómetro deben estar limpias y exentas de residuos de película.

5.2.4 Método 4A – Mediante diferencia de espesor

5.2.4.1 Descripción del instrumento

5.2.4.1.1 Micrómetro

El micrómetro debe ser capaz de medir con una precisión de 5 μm . Se debe equipar con un trinquete para limitar la fuerza ejercida por el husillo sobre la superficie de ensayo

Versión 1 – Fijado a un soporte

El cabezal de un micrómetro con una cara plana para la medición se coloca en un soporte rígido con una base plana, de tal manera que se pueda ajustar su altura. La cara de medición se debe alinear de forma paralela a la parte superior de la base.

Versión 2 – De sujeción manual (véase la figura 5)

El término usual para este tipo de instrumento es micrómetro de exteriores, aunque también se conoce como calibrador micrométrico para uso externo (véase la Norma ISO 3611). El micrómetro debe estar de acuerdo con los requisitos de la Norma ISO 3611. las caras medidoras del husillo y el yunque deben ser planas y paralelas entre ellas.

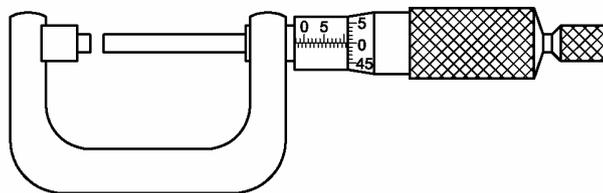


Figura 5 — Micrómetro de exteriores

5.2.4.1.2 Micrómetro de esfera

Los micrómetros de esfera que cumplen con los requisitos de la Norma ISO 463 y los micrómetros de esfera electrónicos son capaces de medir con una precisión de 5 μm (con esfera mecánica) ó 1 μm (con esfera electrónica) o inferior. El micrómetro se debe equipar con un dispositivo para levantar el extremo de medición. La forma del extremo medidor se debe seleccionar en función de la dureza del material de recubrimiento cuyo espesor se ha de medir (esférico para materiales duros, plano para materiales blandos).

Versión 1 – Fijado a un soporte

El micrómetro de esfera se fija a un soporte tal como se muestra en la figura 6. Si se utiliza un estilete de punta plana, la superficie que se va a medir se debe alinear de forma paralela a la parte superior de la base.

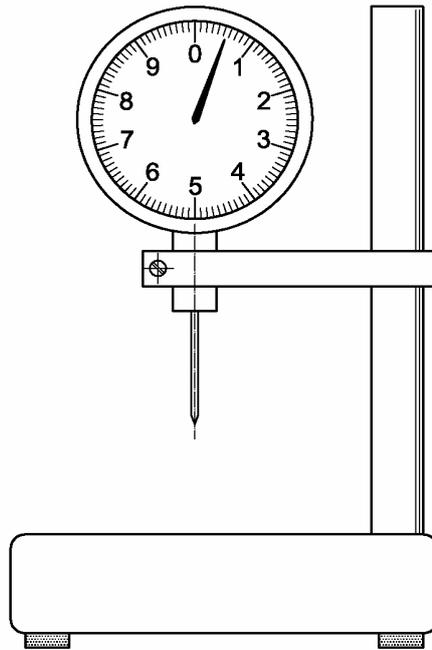
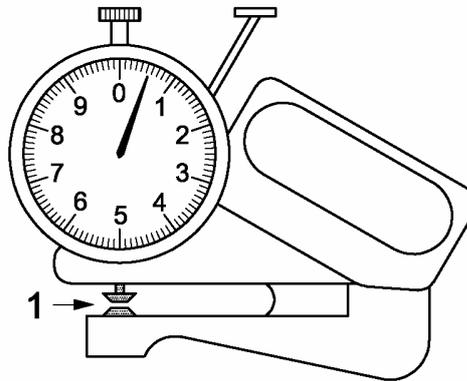


Figura 6 – Micrómetro de esfera fijado a un soporte

Versión 2 – Sujeción manual

Este micrómetro de esfera está equipado con un asidero o mango. El dispositivo para desplazar el émbolo se debe configurar de tal manera que el micrómetro se puede utilizar con una mano. El extremo intercambiable del yunque se debe situar en la posición opuesta al extremo de medición que es móvil. La forma del extremo medidor se debe seleccionar en función de la dureza del material que se vaya a ensayar (esférico para materiales duros, y plano para materiales blandos).

Si tanto el extremo medidor como el yunque tienen un diseño plano (como en el micrómetro de espesor de lámina que se muestra en la figura 7), las superficies de medida deben ser paralelas.



Leyenda

1 Apertura del micrómetro

Figura 7 – Micrómetro de espesor de lámina

5.2.4.2 Procedimiento

Se prepara la probeta de ensayo como se indica en el apartado 5.2.3 para las versiones “eliminación del recubrimiento” y “aplicación del recubrimiento” (véase el apartado 5.2.1).

Se emplean todos los instrumentos de manera que la cara recubierta de la probeta de ensayo o la cara que se ha de recubrir queden orientados hacia el husillo (micrómetro, véase el apartado 5.2.4.1.1) o al elemento de contacto (micrómetro de esfera, véase el apartado 5.2.4.1.2) en las versiones “eliminación del recubrimiento” y “aplicación del recubrimiento” respectivamente.

Cuando se utilice un instrumento fijado a un soporte (véanse los apartados 5.2.4.1.1 y 5.2.4.1.2, versión 1 para cada caso) se colocará la probeta en la base del mismo.

Cuando se utilice un instrumento del tipo de sujeción manual (apartados 5.2.4.1.1 y 5.2.4.1.2, versión 2 para cada caso) se apoyará la probeta contra el extremo medidor fijo.

NOTA: El asidero de los instrumentos especificados en los apartados 5.2.4.1.1 y 5.2.4.1.2, versión 2 para cada caso, se puede fijar en un soporte para realizar el ensayo de una manera más fácil.

Se repite el procedimiento para la segunda medida después de haber eliminado la película (“eliminación del recubrimiento”) o de haber aplicado la película (“aplicación del recubrimiento”).

Cada medición se lleva a cabo de manera que:

— cuando se utiliza el micrómetro, según lo especificado en el apartado 5.2.4.1.1 el husillo se mueve hacia la superficie que se ha de ensayar hasta que se activa el trinquete;

— cuando se utiliza el micrómetro de esfera, según lo especificado en el apartado 5.2.4.1.2, la superficie se coloca de manera cuidadosa en contacto con el extremo del elemento equipado con el muelle.

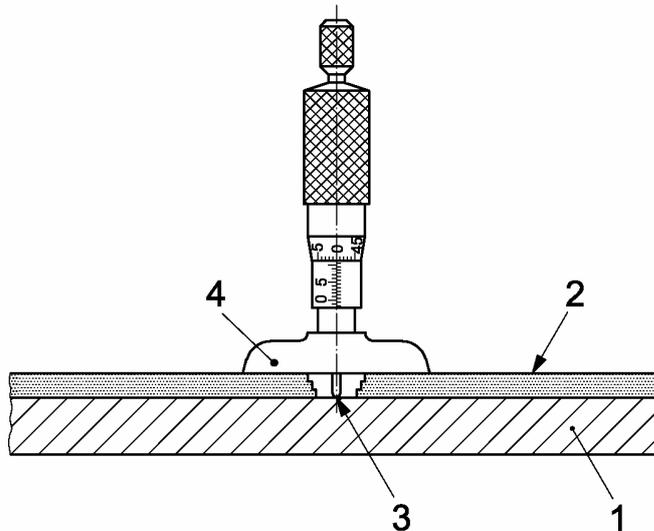
El espesor de película es la diferencia entre la lectura obtenida del espesor total y la lectura obtenida del espesor del sustrato

5.2.5 Método 4B – Medidores de profundidad

5.2.5.1 Instrumento y patrones de referencia

5.2.5.1.1 Versión 1. Medidor de profundidad micrométrico (véase la figura 8)

Los micrómetros de este tipo son capaces de medir con una precisión de $5\ \mu\text{m}$, o mejor. El micrómetro está equipado con un trinquete para limitar la fuerza que ejerce el elemento de contacto sobre el sustrato. Tiene un pie o base plana que se coloca sobre la superficie del recubrimiento y hace las veces de plano de referencia.

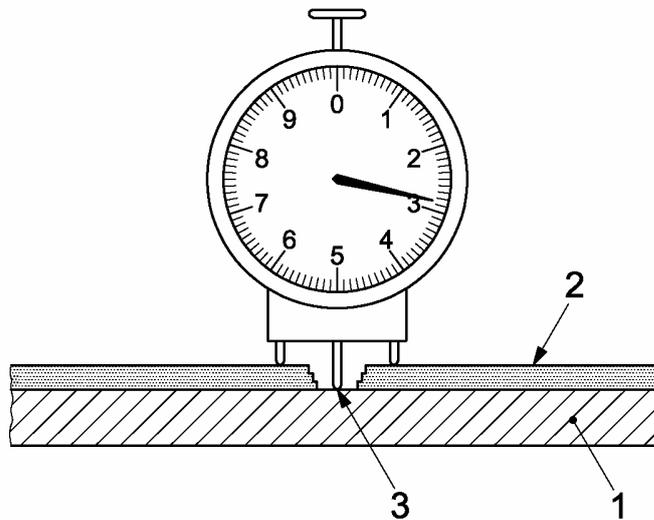


Leyenda
 1 sustrato
 2 recubrimiento
 3 elemento de contacto
 4 pie o base plana

Figura 8 — Medidor de profundidad micrométrico

5.2.5.1.2 versión 2 – Palpador de profundidad con esfera

Normalmente los medidores con esfera mecánicos que cumplen lo especificado en los requisitos de la Norma ISO 463 y los medidores con esfera electrónicos son capaces de medir con una precisión de $5\ \mu\text{m}$ (con esfera mecánica) o de $1\ \mu\text{m}$ (con esfera electrónica), o mejor. El medidor tiene un pie o base plana que se coloca sobre la superficie del recubrimiento y hace las veces de plano de referencia.



Leyenda
 1 sustrato
 2 recubrimiento
 3 elemento de contacto

Figura 9 — Palpador de profundidad con esfera

5.2.5.1.3 Patrón de referencia para calcular la posición cero del medidor

Se necesita una placa plana de referencia para el medidor. La placa de referencia debe consistir en una placa plana de vidrio cuya tolerancia de la plenitud no sobrepase $1\ \mu\text{m}$ (véase también la Norma ISO 1101 ^[1]).

5.2.5.2 Procedimiento

Se retira el recubrimiento de la zona o área de medida. Se mide la posición cero del instrumento mediante comprobación de la posición cero con la placa de referencia (véase el apartado 5.2.5.1.3 y entonces:

a) al utilizar un palpador de profundidad micrométrico, se coloca el pie en la superficie del recubrimiento de tal manera que el husillo esté encima del área expuesta y se atornilla el husillo hasta que el extremo toque el sustrato y el trinquete se accione.

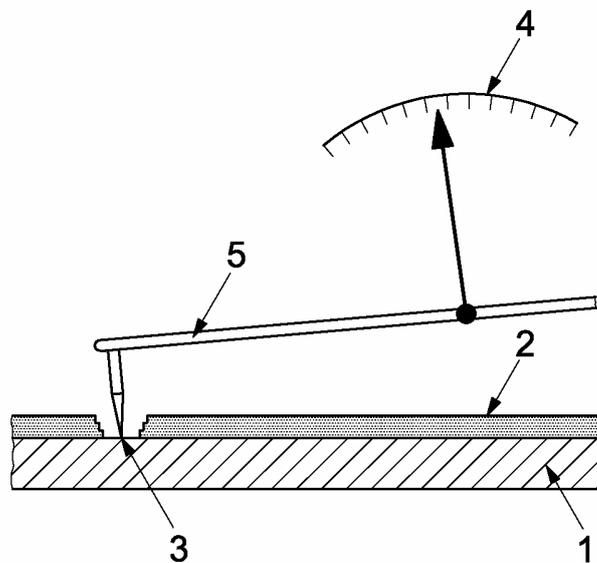
b) al utilizar un palpador de profundidad con esfera, se coloca el elemento de contacto sobre la superficie expuesta y el pie (o las clavijas de contacto) en el recubrimiento (si el instrumento es del tipo que lleva clavijas de contacto, se debe cerciorar que las clavijas están colocadas perpendicularmente a la superficie de la probeta).

El espesor de película se puede leer directamente como lectura de profundidad (corrigiendo, en caso necesario, cualquier error de la posición cero).

5.2.6 Método 4 C – Barrido del perfil superficial

5.2.6.1 Descripción del instrumento

Este instrumento comprende un estilete transversal conectado a un equipo adecuado para amplificar y registrar la señal. Para la medida de los espesores de película, se utiliza el instrumento para registrar el perfil de un hombro formado entre el sustrato y el recubrimiento, por eliminación de parte del recubrimiento (véase la figura 10). El instrumento para medir la rugosidad o el perfil con un estilete móvil se selecciona para que el radio de la punta del estilete coincida con la rugosidad del sustrato y sea la más adecuada para la superficie de la película.



- Leyenda
 1 sustrato
 2 recubrimiento
 3 punta del estilete
 4 escala
 5 palanca

Figura 10 — Barrido del perfil superficial

5.2.6.2 Procedimiento

Se prepara la probeta de ensayo como se especifica en el apartado 5.2.3. Se realiza el barrido y se registra el perfil superficial en la zona o área de medida utilizando un monitor apropiado y un trazador de gráficos.

Las lecturas se pueden ver afectadas adversamente por los siguientes factores:

- superficies que no se han limpiado de manera adecuada;
- vibraciones en el sistema de medición;
- utilización de un estilete no adecuado.

Se trazan las líneas de referencia a través de la altura media del trazo registrado para la superficie de la película (línea superior) y a través del trazo registrado para el sustrato (línea inferior). Se mide el espesor de la película como la distancia entre las líneas de referencia en el punto medio del hombro del recubrimiento.

5.3 Método gravimétrico

5.3.1 Fundamento del método

El espesor de película seca, t_d , en micrómetros, se calcula como la diferencia entre la masa de probeta sin recubrir, y la de probeta recubierta utilizando la ecuación siguiente:

$$td = \frac{m - m_0}{A \cdot \rho_0}$$

Donde:

m_0 es la masa, en gramos, de la probeta de ensayo sin recubrir;

m es la masa, en gramos, de la probeta de ensayo recubierta;

A es el área, en metros cuadrados, de la superficie recubierta;

ρ_0 es la densidad, en gramos por mililitro, del material de recubrimiento aplicado.

NOTA La densidad de película seca del material de recubrimiento se puede determinar según especifica la Norma ISO 3233.

5.3.2 Campo de aplicación

El método gravimétrico es de aplicación general.

5.3.3 Generalidades

La utilización del método gravimétrico aporta el valor medio del espesor de la película seca sobre la totalidad del área de la superficie recubierta. En particular, y para las aplicaciones por pulverización, el reverso de la probeta se debe proteger para prevenir errores de medida debidos al recubrimiento parcial del reverso (exceso de pulverización).

5.3.4 Método 5 – Diferencia de masa

5.3.4.1 Aparato

Se requiere una balanza para pesar hasta 500 g, con una precisión de 1 mg

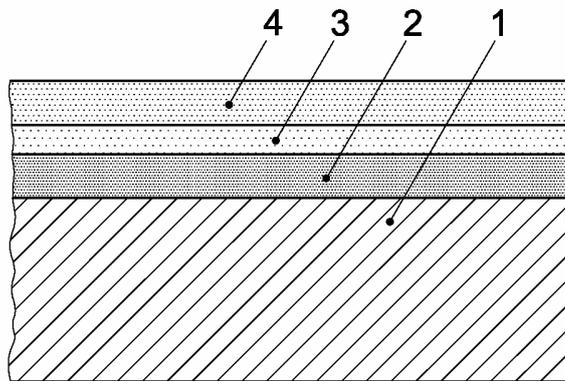
5.3.4.2 Procedimiento

Se pesa la probeta de ensayo limpia y sin recubrir, se recubre, se seca y se vuelve a pesar. Se calcula el espesor de película seca utilizando la ecuación (2).

5.4 Métodos ópticos

5.4.1 Fundamento del método

En el método de corte transversal (método 6ªA véase el apartado 5.4.4), se corta la probeta a lo largo de un plano perpendicular al recubrimiento de tal manera que el espesor de película se pueda medir directamente utilizando un microscopio (véase la figura 11).



- Leyenda
 1 sustrato
 2 recubrimiento 1
 3 recubrimiento 2
 4 recubrimiento 3

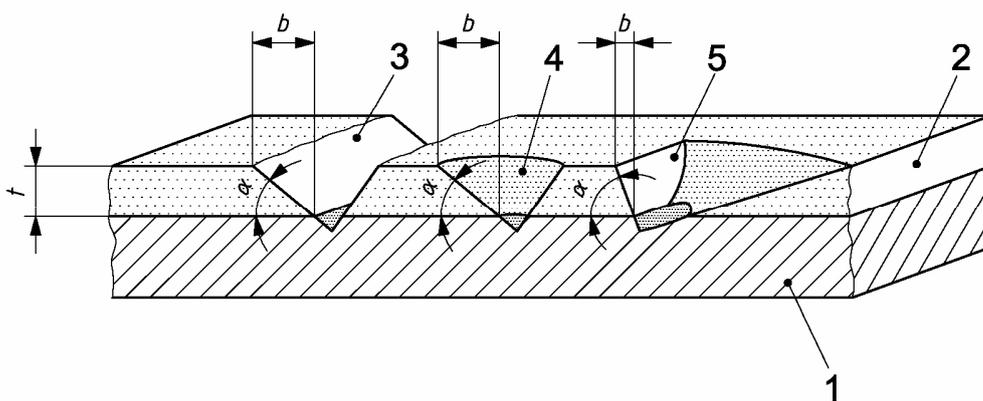
Figura 11 — Probeta cortada transversalmente

Con el método de corte en cuña (método 6B, véase el apartado 5.4.5), se realiza un corte de dimensiones definidas en el recubrimiento utilizando un instrumento de corte con un ángulo especificado respecto de la superficie (véase la figura 12). El espesor de la película, t , se calcula utilizando la ecuación:

$$t = b \cdot \tan \alpha$$

Donde:

- b es la proyección del punto medio del corte (desde el borde hasta el sustrato), que se determina utilizando un microscopio;
- α es el ángulo de corte



- Leyenda
 1 sustrato
 2 recubrimiento
 3 corte simétrico
 4 perforación cónica
 5 corte con pendiente

Figura 12 — Corte simétrico, perforación cónica y corte con pendiente

El corte en cuña simétrico (Número 3 en la figura 12) se puede realizar en el recubrimiento utilizando una cuchilla especial, la perforación cónica (Número 4 en la figura 12) mediante una broca especial y el corte con pendiente (Número 5 en la figura 12) con una fresadora.

5.4.2 Campo de aplicación

El principio del método óptico es adecuado prácticamente para todas las combinaciones película-sustrato. Los espesores de las capas individuales en un recubrimiento de múltiples capas se pueden medir también, siempre que las capas sean suficientemente diferentes.

Si se utiliza el corte transversal o el corte en forma de cuña, el sustrato tendrá las propiedades necesarias para ser seccionado, perforado o cortado.

En caso de disputa, se asigna el método de corte transversal (método 6ª, véase el apartado 5.4.4) como el método de arbitraje.

5.4.3 Generalidades

La probeta de ensayo debe ser plana para el método de corte en cuña (véase, en cualquier caso, la nota del apartado 5.4.5.2).

Si el material de recubrimiento es elástico, el corte transversal o en forma de cuña se puede deformar de tal manera que la medida sea inválida. Este efecto se puede reducir mediante el enfriamiento de la probeta de ensayo antes de practicar el corte.

En el caso de un recubrimiento frágil o de adherencia inadecuada, el desprendimiento de la película puede dificultar la determinación de la interfase real entre el sustrato y el recubrimiento. Puede existir, por lo tanto, un error en las lecturas.

5.4.4 Método 6 A – Corte de sección transversal

5.4.4.1 Versión 1 – Mediante abrasión

5.4.4.1.1 Aparato y materiales

5.4.4.1.1.1 Máquina de amolar y pulir

Es adecuado el aparato que se utiliza para preparar probetas metalográficas.

5.4.4.1.1.2 Medio de moldeo

Se utiliza una resina de curado en frío que no tenga un efecto negativo sobre el recubrimiento de pintura y consiga una humectación completa sin dejar espacios de aire.

5.4.4.1.1.3 materiales para lijar y pulir

Se utiliza papel abrasivo resistente al agua, por ejemplo de grano 280, 400 ó 600, o calidades adecuadas de pasta de diamante o similar.

5.4.4.1.1.4 Microscopio de medida

Se requiere un microscopio con un sistema de iluminación adecuado que ofrezca un contraste de imagen óptimo. Los aumentos se deben elegir de manera que el campo de visión corresponda desde 1,5 hasta 3 veces el espesor de la película. El ocular, o el dispositivo de medida optoelectrónico, deben de permitir que las medidas se realicen con una precisión mínima de 1 µm.

5.4.4.1.2 Procedimiento

Se embebe la probeta de ensayo o una muestra representativa de la probeta en la resina (véase el apartado 5.4.4.1.1.2). Se pule en húmedo la probeta o la muestra mediante la amoladora y pulidora (véase el apartado 5.4.4.1.1.1) a lo largo de un plano perpendicular a la superficie del recubrimiento. Se repite este proceso con una calidad más fina de agente abrasivo. Se mide el espesor(es) de la(s) capa(s) utilizando el microscopio.

5.4.4.2 Versión 2 – Mediante corte**5.4.4.2.1 Aparato****5.4.4.2.1.1 Cuchilla**

Se precisa de un micrótopo transversal o rotacional con cuchillas de carburo de una geometría apropiada y un soporte para fijar la probeta en su sitio.

5.4.4.2.1.2 Microscopio de medida

Se precisa un microscopio con un sistema de iluminación adecuado que ofrezca un contraste de imagen óptimo. Los aumentos se deben elegir de manera que el campo de visión corresponda desde 1,5 hasta 3 veces el espesor de la película. El ocular, o dispositivo de medida optoelectrónico, deben permitir que las medidas se realicen con una precisión mínima de 1 μm .

5.4.4.2.2 Procedimiento

Se fija la probeta de ensayo o una muestra representativa tomada de la probeta en el soporte de la probeta del micrótopo y se corta a lo largo de un plano perpendicular a la superficie del recubrimiento. Se miden los espesores de las capas expuestas utilizando el microscopio.

5.4.5 Método 6B – Corte en cuña**5.4.5.1 Aparato****5.4.5.1.1 Generalidades**

Para la aplicación del método de corte en cuña, se requiere una cuchilla y un microscopio para medir. Se pueden integrar en un único instrumento.

5.4.5.1.2 Cuchilla

Se precisa un instrumento especial con una cuchilla reemplazable para practicar cortes precisos en un ángulo especificado.

El instrumento cortante (cuchilla, broca especial para pintura o fresadora) debe:

- estar hecho de un material al carburo;
- tener una buena precisión para amolar los flancos;
- tener una geometría adecuada para asegurar un corte en cuña.

Los ángulos de corte normalizados están en el rango entre $\alpha = 5,7^\circ$ ($\tan \alpha = 0,1$) y $\alpha = 45^\circ$ ($\tan \alpha = 1$).

5.4.5.1.3 Microscopio de medida

Se precisa un microscopio con 50 aumentos, aproximadamente, y un dispositivo de iluminación. El ocular debe permitir medidas con una precisión de 20 μm .

5.4.5.2 Procedimiento

Se marca la probeta de ensayo con, por ejemplo, un marcador con punta de fieltro, de color que contraste en el área de medida. Se practica el corte o la perforación a través de esta marca. El corte o la perforación deben penetrar en el sustrato. Se utiliza la marca para localizar el corte o la perforación con ayuda de microscopio, se mide la proyección del punto medio de la anchura, b , y se calcula el(los) espesor(es) de la película utilizando la ecuación (3) (véase el apartado 5.4.1).

NOTA: La ecuación (3) no se puede utilizar con superficies curvas. Sin embargo, se puede utilizar una fórmula de cálculo modificada para perforaciones cónicas en superficies curvas.

5.5 Métodos magnéticos

5.5.1 Generalidades

Es imperativo verificar la mayoría de los instrumentos de medida del espesor de película seca de tipo magnético antes de proceder a tomar medidas. La verificación se debe llevar a cabo dentro del rango de espesores esperado para el recubrimiento, y siempre de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

5.5.2 Fundamento del método

El espesor de la película se determina mediante la interacción entre un campo magnético y el sustrato metálico. El espesor de la película se determina según la fuerza necesaria para retirar un imán del recubrimiento (método 7^a, véase el apartado 5.5.5), o según los cambios producidos en el campo magnético (método 7B, 7C, y 7D, véanse los apartados 5.5.6, 5.5.7 y 5.5.8).

5.5.3 Campo de aplicación

Los métodos magnéticos son adecuados para los recubrimientos sobre sustratos metálicos.

Para los métodos 7A, 7B y 7C, el sustrato tiene que ser ferromagnético y para el método 7D tiene que no ser ferromagnético.

Las propiedades del recubrimiento deben ser tales que la lectura no quede invalidada cuando el instrumento entre en contacto con la superficie del recubrimiento.

5.5.4 Generalidades

El campo magnético producido por el instrumento se puede ver afectado por los siguientes factores:

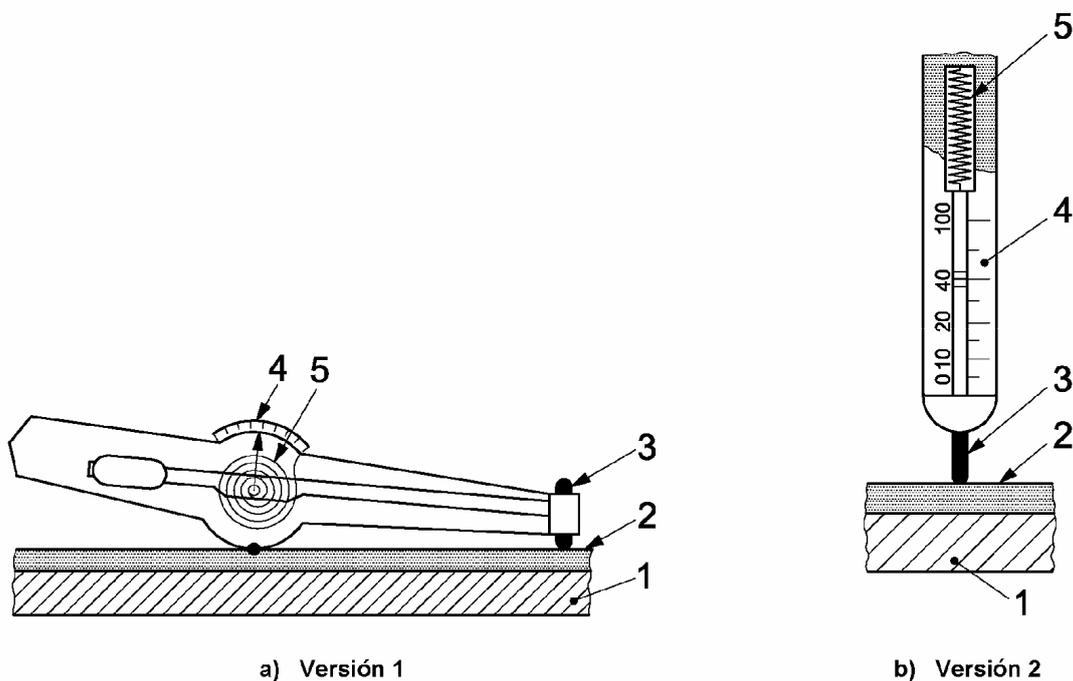
- la geometría del sustrato (dimensiones, curvatura y espesor);
- las propiedades del material del sustrato (por ejemplo, permeabilidad, conductividad y las propiedades que resulten de cualquier pre-tratamiento);
- la rugosidad del sustrato;
- otros campos magnéticos (magnetismo residual del sustrato y campos magnéticos externos).

5.5.5 Método 7 A- Instrumento de tracción magnética

5.5.5.1 Descripción del instrumento

Este instrumento contiene un imán para la determinación del espesor de película a partir de la fuerza de atracción entre el imán y el sustrato [véase las figura 13 a) y 13 b)].

NOTA: El instrumento que se muestra en la figura 13 a) se puede utilizar en cualquier posición. El instrumento que se muestra en la figura 13 b) está diseñado para utilizarse exclusivamente en una única orientación debido al efecto de la gravedad.



Leyenda
 1 sustrato
 2 recubrimiento
 3 imán
 4 escala
 5 muelle

Figura 13 — Instrumento de tracción magnética

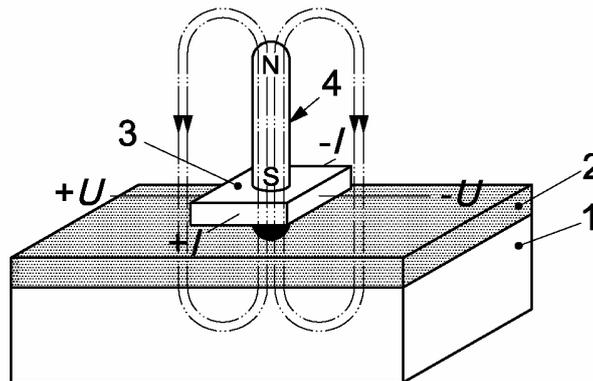
5.5.5.2 Procedimiento

Se coloca el instrumento con el imán en contacto con el recubrimiento. Se separa el imán del recubrimiento en dirección perpendicular a la superficie del recubrimiento. El espesor de la película es función de la fuerza necesaria para separar el imán de la probeta de ensayo.

5.5.6 Método 7B – Instrumento de flujo magnético

5.5.6.1 Descripción del instrumento

Este instrumento contiene un imán para determinar el espesor de la película a partir del cambio, causado por el sustrato, en el campo magnético del imán. El campo magnético se mide con una sonda Hall (véase la figura 14).



Leyenda

- 1 sustrato
- 2 recubrimiento
- 3 componente Hall
- 4 imán

U potencial Hall
I corriente de control

Figura 14 — Sonda Hall

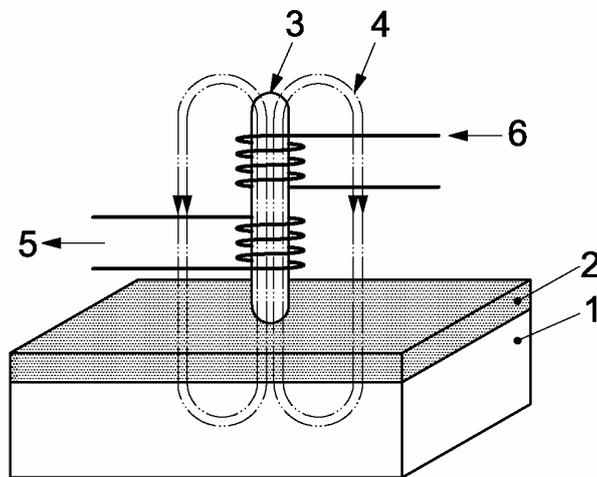
5.5.6.2 Procedimiento

Se coloca el instrumento orientado perpendicularmente sobre el recubrimiento. El espesor se lee directamente en la escala o se calcula de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

5.5.7 Método 7 C – Instrumento de inducción magnética

5.5.7.1 Descripción del instrumento

Este instrumento contiene un electroimán para la determinación del espesor de película a partir del cambio producido en el campo magnético cuando se acerca a un sustrato ferromagnético (véase la figura 15). Un campo electromagnético alterno de baja frecuencia (LF, por ejemplo 60 Hz) se genera por el electroimán (véase la Norma ISO 2178^[3]).



Leyenda

- 1 sustrato
- 2 recubrimiento
- 3 núcleo ferromagnético
- 4 campo magnético alterno (LF)
- 5 señal de medición
- 6 corriente

Figura 15 — Fundamento del instrumento de inducción magnética

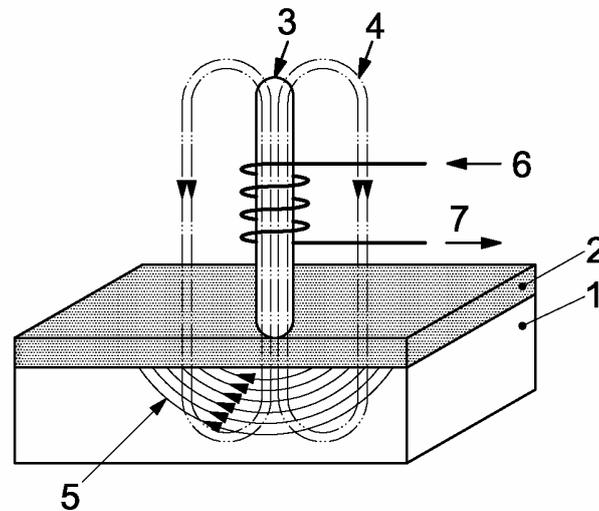
5.5.7.2 Procedimiento

Se coloca el instrumento sobre el recubrimiento orientado perpendicularmente al mismo. Se calcula el espesor de la película a partir del cambio producido en el flujo magnético.

5.5.8 Método 7 D – Instrumento de corrientes inducidas

5.5.8.1 Descripción del instrumento

Este instrumento contiene un electroimán para la determinación del espesor de película a partir del cambio en el campo magnético causado por las corrientes inducidas en el sustrato eléctricamente conductor (véase la figura 16). Un campo electromagnético alterno de alta frecuencia (HF, por ejemplo de 0,1 MHz a 30 MHz) se genera en el electroimán (véase la Norma ISO 2360 ^[4])



Leyenda

- 1 sustrato
- 2 recubrimiento
- 3 núcleo de ferrita
- 4 campo magnético alterno (HF)
- 5 corrientes inducidas
- 6 corriente
- 7 señal de medición

Figura 16 — Fundamento del instrumento de corrientes inducidas

5.5.8.2 Procedimiento

Se coloca el instrumento sobre el recubrimiento orientado perpendicularmente al mismo.

5.6 Método radiológico

5.6.1 Fundamento del método

El espesor de película se deduce de la interacción entre una radiación ionizante y el recubrimiento. Como fuente de radiación se utiliza un radioisótopo.

5.6.2 Campo de aplicación

El método radiológico es adecuado para cualquier combinación de película-sustrato, cuando la diferencia entre el número atómico del material de recubrimiento y el del sustrato sea al menos 5 (véase la Norma ISO 3543 ^[10]).

5.6.3 Generalidades

La medición del espesor de la película puede verse afectado por:

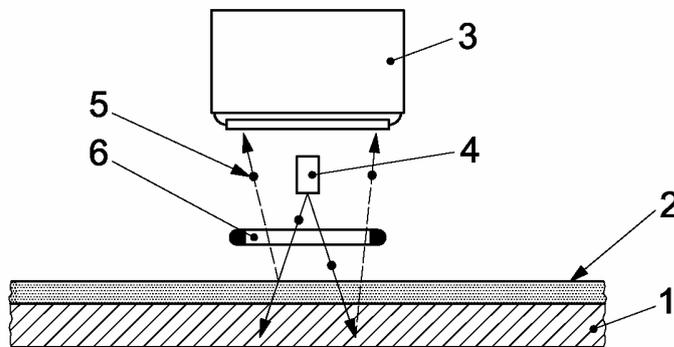
- la geometría del sustrato (dimensiones, curvatura);
- impurezas en la superficie del recubrimiento;
- variaciones en la densidad del recubrimiento.

5.6.4 Método 8 – Método por retrodifusión de rayos beta

5.6.4.1 Descripción del instrumento

El aparato retrodifusor de rayos beta (véase la figura 17) consiste en:

- una fuente de radiación (radio isótopo) que emite fundamentalmente películas beta que tiene una energía adecuada al espesor de película que se ha de medir;
- una sonda o sistema de medida con un rango de aperturas y que contiene un detector beta para contar el número de partículas beta retrodifundidas (por ejemplo, un contador Geiger);
- un sistema procesador de datos y de presentación de los mismos.



- Leyenda
- 1 sustrato
 - 2 recubrimiento
 - 3 contador
 - 4 radioisótopo
 - 5 partículas retrodifundidas
 - 6 apertura

Figura 17 — Método de la retrodifusión de rayos beta

5.6.4.2 Verificación

Se verifica y, si es necesario, se ajusta el instrumento mediante patrones que tengan, tanto como sea posible, un recubrimiento y un sustrato de la misma composición que la probeta que va a ser ensayada.

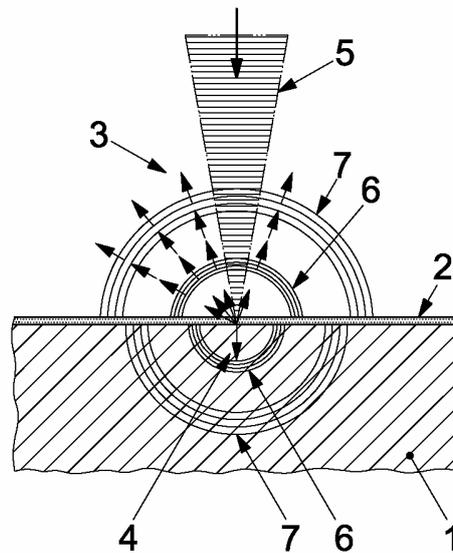
5.6.4.3 Procedimiento

Se hace funcionar el instrumento siguiendo las instrucciones del fabricante.

5.7 Método fototérmico

5.7.1 Fundamento del método

El espesor de película se determina por la diferencia entre el tiempo que una onda térmica se irradia hacia el recubrimiento y el tiempo en que se detecta la onda que se re-emite (en forma de calor o ultrasónica) (véase la figura 18).



Leyenda

- 1 sustrato
- 2 recubrimiento
- 3 radiación térmica re-emitida
- 4 absorción de radiación por el recubrimiento (depende del espesor del recubrimiento y del material del recubrimiento)
- 5 irradiación térmica
- 6 ondas térmicas
- 7 ondas ultrasónicas

Figura 18 — Interacción de la radiación con la probeta en la medición fototérmica del espesor

Independientemente del tipo de excitación desarrollada o del método de detección, todos los métodos fototérmicos utilizan el mismo fundamento: la introducción de energía continua o en forma de calor dentro de una probeta de ensayo y la detección posterior de un incremento de temperatura localizado.

La diferencia de tiempo medida se compara frente a valores obtenidos con el instrumento para películas de espesor conocido medido en condiciones controladas (energía de excitación, longitud del pulso, frecuencia de excitación, etc.) (véase el apartado 5.7.4.2).

5.7.2 Campo de aplicación

El fundamento del método foto térmico es básicamente adecuado por todas las combinaciones de película-sustrato. También se puede utilizar para determinar los espesores de las capas individuales en un recubrimiento multicapa, siempre y cuando las capas estén suficientemente diferenciadas entre ellas respecto a su conductividad térmica y sus propiedades reflectoras.

El espesor del sustrato mínimo que se precisa es función del sistema de medida utilizado (véase el apartado 5.7.4.1.1) y de la combinación película-sustrato.

5.7.3 Generalidades

La clasificación del método como destructivo o no-destructivo depende de la función del recubrimiento. La energía térmica absorbida por el recubrimiento podría tener un impacto sobre el mismo debido al efecto del calor que se produce de manera localizada.

5.7.4 Método 9 – Determinación utilizando propiedades térmicas

5.7.4.1 Instrumento y patrones de referencia

5.7.4.1.1 Sistema de medición

Existen varios métodos para provocar ondas térmicas en un material de recubrimiento y para la posterior detección de los efectos térmicos inducidos en la zona calentada de la muestra (véase la Norma EN 15042-2^[18]). Como sistemas de excitación térmica, para los recubrimientos de pintura, se utilizan principalmente fuentes de radiación térmica (por ejemplo, fuentes de láser, diodos emisores de luz, fuente de luz incandescente).

Se utilizan los siguientes métodos de detección:

- detección de la radiación térmica-emitida (radiometría fototérmica);
- detección del cambio en el índice de refracción (en el aire caliente situado sobre el área de medida);
- detección piro-eléctrica (medida del flujo de calor).

5.7.4.1.2 Patrones de referencia

Con el objeto de proceder a la verificación son necesarias probetas de referencia con diferentes propiedades de absorción y una selección de espesores de película. (Véase la Norma EN 15042-2^[18]).

5.7.4.2 Verificación

Se verifica y, si es necesario, se ajusta el sistema de medida con los patrones de referencia (véase el apartado 5.7.4.1.2) para cada combinación de película-sustrato (en particular para cada material de recubrimiento).

5.7.4.3 Procedimiento

Se hace funcionar el instrumento siguiendo las instrucciones del fabricante. Se toma la medida del espesor de manera directa en la pantalla o se calcula de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

5.8 Método acústico

5.8.1 Fundamento del método

En el método acústico, el espesor de la película se determina a partir del tiempo de propagación de una pulsación ultrasónica a través del recubrimiento.

5.8.2 Campo de aplicación

El método acústico es adecuado para cualquier combinación de película-sustrato.

La velocidad del sonido ha de ser uniforme en las capas individuales y ha de ser marcadamente diferente de la velocidad del sonido en la capa adyacente y en el sustrato.

NOTA: Las faltas de homogeneidad en el recubrimiento (por ejemplo la presencia de escamas de aluminio) y en el sustrato (por ejemplo las vetas de la madera) pueden influir en el resultado.

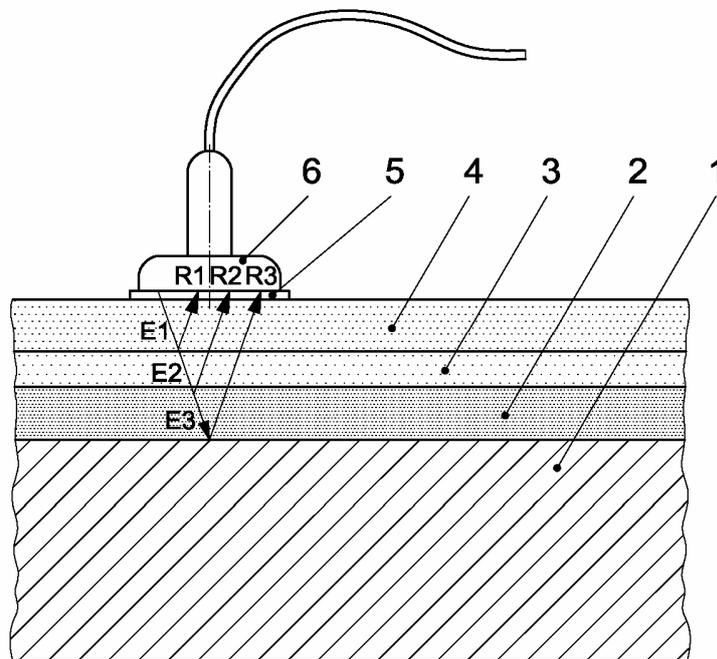
5.8.3 Generalidades

El campo acústico puede verse afectado por la geometría del sustrato (dimensiones, curvatura y rugosidad).

5.8.4 Método 10- Instrumento de medida de espesor por ultrasonidos

5.8.4.1 Descripción del instrumento

Este instrumento tiene un emisor de ultrasonidos y un receptor para la determinación del espesor de película en función del tiempo de propagación del sonido (véase la figura 19).



Leyenda

- 1 sustrato
- 2 recubrimiento 1
- 3 recubrimiento 2
- 4 recubrimiento 3
- 5 junta de acoplamiento
- 6 sonda (emisor y receptor)
- E pulsación penetrante en el recubrimiento
- R pulsaciones reflejadas

Figura 19 — Instrumento de medida de espesor por ultrasonidos.

5.8.4.2 Procedimiento

Se coloca una junta de acoplamiento sobre el recubrimiento al que se ha de medir su espesor. Se coloca el instrumento con la sonda plana sobre la superficie del recubrimiento. Se hace funcionar el instrumento y se determinan los resultados siguiendo las instrucciones del fabricante.

6 Determinación del espesor de las capas de pintura en polvo antes de su curado

6.1 Generalidades

El Anexo A ofrece un resumen de los métodos utilizados para la determinación del espesor de las capas de pintura en polvo antes de su curado.

6.2 Método gravimétrico

6.2.1 Fundamento del método

El espesor de película de la capa de pintura en polvo antes de su curado, t_p , en micrómetros, se calcula como la diferencia entre la masa de la probeta no recubierta y la masa de la probeta recubierta mediante la ecuación:

$$t_p = \frac{m - m_0}{A \cdot \rho_p}$$

Donde:

m_0 es la masa, en gramos, de la probeta sin recubrir;

m es la masa, en gramos, de la probeta recubierta

A es el área superficial recubierta, en metros cuadrados

ρ_p es la densidad, en gramos por mililitro, del material de recubrimiento en polvo aplicado y antes de su curado.

NOTA: La densidad del material de recubrimiento en polvo se puede determinar según lo especificado en las Norma ISO 8130 o ISO 8130-3.

6.2.2 Campo de aplicación

El método gravimétrico es de aplicación general.

6.2.3 Generalidades

La utilización del método gravimétrico permite determinar el valor medio del espesor de la película sobre la totalidad del área de la superficie recubierta. Al aplicar el material en polvo, se debe proteger el reverso de la probeta para prevenir errores de medida que pueden aparecer por el recubrimiento parcial del reverso (por exceso de pulverización).

6.2.4 Método 11 – Mediante la diferencia de masa

6.2.4.1 Aparato

Se necesitan balanzas capaces de pesar hasta 500 g con una precisión de 1 mg.

6.2.4.2 Procedimiento

Se pesa la probeta limpia y sin recubrir, se recubre y se vuelve a pesar. Se calcula el espesor de película utilizando la ecuación (4).

La segunda pesada se debe llevar a cabo inmediatamente después de la aplicación del material en polvo.

6.3 Métodos magnéticos

6.3.1 Fundamento del método

El espesor de la película se determina mediante la interacción entre un campo magnético y el sustrato metálico. El espesor de la película es función del cambio en el campo magnético.

6.3.2 Campo de aplicación

Los métodos magnéticos son adecuados para sustratos metálicos recubiertos.

Para el método 12^a, el sustrato ha de ser ferromagnético, y para el método 12 B no-ferromagnético.

6.3.3 Generalidades

El campo magnético producido por el instrumento puede verse afectado por los siguientes factores:

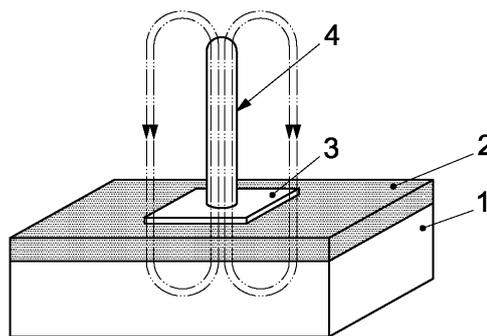
- la geometría del sustrato (dimensiones, espesor);
- las propiedades del material del sustrato (por ejemplo, permeabilidad, conductividad y las propiedades resultantes de cualquier pretratamiento);
- la rugosidad del sustrato;
- otros campos magnéticos (magnetismo residual del sustrato y campos magnéticos externos).

Sólo se permiten las medidas realizadas sobre superficies planas.

6.3.4 Método 12 A - Instrumento de inducción magnética

6.3.4.1 Descripción del instrumento

Este instrumento contiene un electroimán para la determinación del espesor de la película a través del cambio producido en el campo magnético cuando se acerca éste a un sustrato ferromagnético (véase la figura 20). Se genera mediante el electroimán (véase la Norma ISO 2178 ^[3]), un campo electromagnético alterno de baja frecuencia (LF, por ejemplo de 60 Hz a 400 Hz).



Leyenda

1 sustrato

2 recubrimiento

3 placa base

4 imán o sonda de corrientes inducidas

Figura 20 — Sonda de un equipo de inducción magnética para la medida del espesor de recubrimientos en polvo

La influencia de la sonda sobre el espesor de la capa del material en polvo antes de su curado se debe minimizar en el momento de colocar la sonda.

6.3.4.2 Procedimiento

Se coloca el instrumento de manera perpendicular sobre el recubrimiento. Se toma la medida del espesor directamente de la pantalla o se calcula siguiendo las instrucciones del fabricante.

6.3.5 Método 12 B — Instrumento de corrientes inducidas

6.3.5.1 Descripción del instrumento

Este instrumento contiene un electroimán para la determinación del espesor de película a partir del cambio en el campo magnético causado por las corrientes inducidas en el sustrato eléctricamente conductor (véase la figura 16). Mediante el electroimán se genera (véase la Norma ISO 2360 [4]) un campo electromagnético alterno de alta frecuencia (HF, por ejemplo de 0,1 MHz a 30,0 MHz).

La influencia de la sonda sobre el espesor de la capa del material en polvo antes de su curado se debe minimizar en el momento de colocar la sonda.

6.3.5.2 Procedimiento

Se coloca el instrumento de manera perpendicular sobre el recubrimiento. Se toma la lectura del espesor directamente de la pantalla o se calcula siguiendo las instrucciones del fabricante.

6.4 Método fototérmico

6.4.1 Fundamento del método

El espesor de película se determina por la diferencia entre el tiempo que una onda térmica se irradia hacia el recubrimiento y el tiempo en que se detecta la onda que se re-emite (en forma de calor o ultrasónica) (véase la figura 18).

Sin importar el tipo de excitación desarrollado o el método de detección, todos los métodos fototérmicos utilizan el mismo fundamento; la introducción de energía, en continuo o a pulsos, en forma de calor, dentro de una probeta de ensayo y la detección posterior del incremento de temperatura localizado.

La diferencia de tiempo de medida se compara frente a valores obtenidos con el instrumento para películas de espesor conocido medido en condiciones controladas (energía de excitación, longitud del pulso, frecuencia de excitación, etc.) (véase el apartado 6.4.4.2).

6.4.2 Campo de aplicación

El fundamento del método fototérmico es básicamente adecuado para todas las combinaciones de película – sustrato. También se puede utilizar para determinar los espesores de las capas individuales en un recubrimiento multi - capa, siempre y cuando las capas estén suficientemente diferenciadas entre ellas respecto a su conductividad térmica y sus propiedades reflectoras.

El espesor del sustrato mínimo que se precisa es función del sistema de medida utilizado (véase el apartado 6.4.4.1.1) y de la combinación película-sustrato.

6.4.3 Generalidades

La clasificación del método como destructivo o no-destructivo depende de la función del recubrimiento. La energía térmica absorbida por el recubrimiento podría tener un impacto sobre él mismo debido al efecto del calor que se produce de manera localizada.

6.4.4 Método 13 – Determinación utilizando las propiedades térmicas

6.4.4.1 Instrumento y patrones de referencia

6.4.4.1.1 Sistema de medida

Existen varios métodos para provocar ondas térmicas en un material de recubrimiento y para la posterior detección de los efectos térmicos inducidos en la zona calentada de la muestra (véase la Norma EN 15042-2 ^[18]). Como sistemas de excitación térmica, para los recubrimientos de pintura, se utilizan principalmente fuentes de radiación térmica (por ejemplo, fuentes láser, diodos emisores de luz incandescente).

Se utilizan los siguientes métodos de detección:

- detección de la radiación térmica-emitida radiometría fototérmica);
- detección del cambio en el índice de refracción (en el aire caliente sobre el área de medida);
- detección piro-eléctrica (medida del flujo de calor).

6.4.4.1.2 Patrones de referencia

Con el objeto de proceder a la verificación son necesarias probetas de referencia con propiedades diferentes de absorción y cubriendo un intervalo adecuado de espesores de película (véase la Norma EN 15042-2 ^[18]).

6.4.4.2 Verificación

Se verifica, y si es necesario, se ajusta el sistema de medida con las probetas de referencia (véase el apartado 6.4.4.1.2) para cada combinación de película-sustrato (en particular, para cada material de recubrimiento).

6.4.4.3 Procedimiento

Se hace funcionar el instrumento siguiendo las instrucciones del fabricante. Se toma la medida del espesor de manera directa en la pantalla o se calcula de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

7 MEDIDA DEL ESPESOR DE PELÍCULA SOBRE SUPERFICIES RUGOSAS

7.1 Generalidades

La rugosidad superficial de un sustrato influye sobre el resultado de la determinación del espesor de la película. Para sustratos de acero chorreados, por lo tanto, se deben tener en cuenta consideraciones especiales. Si se aplica un recubrimiento sobre un sustrato de acero chorreado, la medición del espesor es más complicada que si fuera una superficie lisa. Los resultados se encuentran influenciados por las propiedades del sustrato, que varían de una zona del sustrato a otra, y por el diseño del equipo de medida. El procedimiento utilizado para poner a punto los instrumentos de medida sobre sustratos chorreados lleva en la práctica a una variabilidad significativa en las lecturas del espesor de película seca.

Además de la variedad de resultados según el tipo de instrumento utilizado, la puesta a cero del instrumento sobre una superficie chorreada también introduce algunos problemas como:

- pobre repetibilidad:
- variabilidad en el espesor de medido de una lámina colocada sobre una superficie de tales características (cuanto más gruesa sea la lámina, mayor diferencia aparente en la medida del espesor de la lámina);
- la incertidumbre latente cuando se desconoce la rugosidad superficial del sustrato de acero.

El objetivo del método descrito en este capítulo es minimizar la variabilidad y establecer una manera uniforme de llevar a la práctica la medida del espesor de recubrimientos aplicados sobre superficies de acero chorreadas. El método ofrece la medida del espesor de la película utilizando un instrumento del tipo de inducción magnética, que previamente se ha puesto a cero sobre una superficie de acero lisa.

Este método mide el espesor de recubrimiento a partir de un plano imaginario localizado entre los picos y los valles de superficie rugosa del sustrato, normalmente unos 25 μm por debajo de los picos (es decir, aproximadamente la mitad de la rugosidad superficial, expresada como la altura desde el fondo hasta la parte superior de los picos, de una superficie chorreada) excepto para las superficies preparadas conforme a un perfil superficial catalogado como "fino" según lo descrito en la Norma ISO 8503-1.

El método describe la determinación de un parámetro representativo del espesor de un recubrimiento seco sobre un sustrato de acero chorreado. El espesor de película real, tal como se mide con un método de referencia, no debe ser menor de 25 μm y debería, preferiblemente, mayor de 50 μm para que los resultados sean significativos.

En la Norma ISO 19840 ^[4] se describen otros métodos para la determinación del espesor de los recubrimientos aplicados sobre superficies rugosas.

7.2 Aparato y materiales

7.2.1 Instrumento de medida de espesores de película: del tipo de inducción magnética, como el utilizado en el método 7C (véase al apartado 5.5.7)

NOTA: Equipos que cuentan con los medios para el cálculo de desviaciones estándar medias de las medidas así como de otros parámetros estadísticos se deberían usar con cuidado y preferentemente sólo por personal formado en técnicas estadísticas.

7.2.2 Láminas para la verificación, del tipo de hoja: con valores asignados trazables a patrones nacionales reconocidos, de espesores próximos al espesor de película esperado.

NOTA: Se permite la utilización de láminas no certificadas siempre que se verifiquen en el momento de la medición.

7.2.3 Placa de acero lisa: sin calamina ni óxido, similar en su naturaleza magnética al acero recubierto y con un grosor mínimo de 1,2 mm, para su uso en la verificación del instrumento.

7.3 Procedimiento

7.3.1 Verificación

Antes de su utilización, se verifica y se ajusta, cuando sea necesario, el instrumento de acuerdo con las instrucciones del fabricante para el sustrato de acero, utilizando la placa de acero lisa, que se debe pulir con papel abrasivo de tipo de grano 400 para eliminar todas las manchas y restos de corrosión antes de su uso. Las láminas de verificación se deben colocar entre la sonda y la placa de acero lisa. Se deben utilizar láminas de verificación de espesores superiores e inferiores al espesor de película esperado.

7.3.2 Medición

Las mediciones del recubrimiento una vez seco se deben realizar de acuerdo con las instrucciones del fabricante del instrumento para acero liso. Para el número de lecturas que se han de tomar, véase el apartado 7.3.3.

7.3.3 Numero de lecturas

Es aconsejable tomar al menos tres lecturas uniformemente distribuidas a la largo de cada área de ensayo.

A modo de guía, se recomienda tomar dos áreas de ensayo por cada metro cuadrado para las placas planas, cuatro áreas por cada metro lineal en el caso de las redes bidimensionales, dos áreas por cada metro lineal en el caso de tuberías (dependiendo del diámetro de la tubería).

Generalmente se recomienda aumentar el número de determinaciones distribuidas a la largo de cada área de ensayo.

8 Informe de ensayo

El informe de ensayo debe contener la siguiente información:

- a) toda la información necesaria para la identificación del producto a ensayar (fabricante, nombre del producto, número de lote, etc.);
- b) una referencia de esta Norma Cubana;
- c) el método y el instrumento utilizado;
- d) los resultados del ensayo, incluyendo los resultados de las determinaciones individuales y su valor medio;
- e) cualquier modificación del procedimiento descrito;
- f) cualquier aspecto inusual (anomalía) observado durante el ensayo;
- g) la fecha del ensayo.

El informe de ensayo puede contener además, si se necesita, la siguiente información adicional:

- h) detalles del sustrato (material, espesor, pre-tratamiento);

- i) el método de aplicación del recubrimiento a ensayar sobre el sustrato y si es un sistema de una capa o multicapa;
- j) la duración y condiciones de secado/curado (incluido el curado en estufa) y envejecimiento, si es el caso, del recubrimiento antes de proceder a tomar las medidas de espesor;
- k) el área superficial relevante, las áreas de ensayo y el número de áreas de medida por cada área de ensayo;
- l) el espesor medio de película y su desviación estándar, el espesor de película local y su desviación estándar, y el espesor de película local mínimo y máximo.

ANEXO A
(Informativo)

Resumen de los métodos

En las tablas de la A.1 a la A.3 se muestra un resumen de los métodos descritos en esta norma internacional. El campo de aplicación, los patrones existentes y la precisión se especifican para cada método de manera individualizada. En el caso de que existan normas para los métodos individuales, se hace referencia a éstas.

Tabla A.1 – Determinación del espesor de película húmeda

Fundamento del método	Método	Sustrato ^a	Campo de aplicación ^b			Norma ^c	Exactitud/Precisión ^d
			nd/d ^e	c	l/p/f		
Mecánico (4.2)	1A Peine (4.2.4)	X	nd/d ^e	c	l/p/f	ASTMD 4414	Error sistemático de precisión del peine $\pm 10\%$ o $\pm 5\ \mu\text{m}$, el que sea superior
	1B Rueda (4.2.5)	X	nd/d ^e	c	l/p/f	ASTMD 1212	Error sistemático $\pm 5\%$ o $\pm 5\ \mu\text{m}$, el que sea superior
	1C Micrómetro con rueda (4.2.6)	X	nd/d ^e	c	l/p/f		Error sistemático $\pm 5\%$ o $\pm 3\ \mu\text{m}$, el que sea superior
Gravimétrico (4.3)	2 Mediante Diferencia de Masa (4.3.4)	X	nd	nc	l		Sin datos disponibles
Fototérmico (4.4)	3 Propiedades Térmicas (4.4.4)	X	nd	nc	l/p	EN 15042-2	Error sistemático $\pm 2\%$ o $\pm 3\ \mu\text{m}$, el que sea superior

^a X = cualquier sustrato

^b d = destructivo
nd = no-destructivo
c = contacto
nc = sin contacto
l/p/f = de aplicación en el laboratorio/áreas de producción/trabajo de campo

^c Normas (inter)nacionales representativas donde se describen los métodos.

^d Datos de precisión para los métodos que están disponibles de los fabricantes del instrumento y que se pueden verificar con patrones de calibración trazables. Las cifras mostradas se basan en medidas empíricas ofrecidas por los fabricantes del instrumento y por los usuarios. Son posibles variaciones.

^e Depende del recubrimiento y su función.

Tabla A.2 – Determinación del espesor de película seca

Fundamento del método	Método	Sustrato ^a	Campo de aplicación ^b			Norma ^c	Exactitud/Precisión ^d
Mecánico (5.2)	4A Diferencia en espesor micrómetro/de esfera (5.2.4)	X	nd/d ^e	c	l	ASTM D 1005 DIN 50933	Mecánico: límite inferior 5 µm. Electrónico: límite inferior 3 µm
	4B Medidor de profundidad (micrómetro/de esfera)(5.2.5)	X	d	c	l		Mecánico: límite inferior 3 µm
	4C Barrido de perfil superficial (5.2.6)	X	d	nc	l	ISO 4518	Límite inferior: 2 µm
Gravimétrico	5 Mediante diferencia de masa (5.3.4)	X	d	c	l/p/f		Sin datos disponibles
Óptico (5.4)	6 A Corte ransversal (5.4.4)	X	d	c	l	ISO 1463	Error sistemático ± 2 µm Reproducibilidad ± 5 %
	6B Corte en cuña (5.4.5)	x	d	c	l/p/f	DIN 50986	Con el límite superior 2 µm Reproducibilidad ± 10 %
Magnético (5.5)	7A Instrumento de tracción magnética (5.5.5)	Fe	nd	c	l/p/f	ISO 2178	Error sistemático ± 5 µm Reproducibilidad ± 6 %
	7B Instrumento de flujo magnético (5.5.6)	Fe	nd	c	l/p/f		Error sistemático ± 3 µm Reproducibilidad ± 5 %
	7C Instrumento de inducción magnética (5.5.7)	Fe	nd	c	l/p/f	ISO 2178	Error sistemático ± 2 µm Reproducibilidad ± 3 %
	7D Instrumento de corrientes inducidas (5.5.8)	NFe	nd	c	l/p/f	ISO 2360	Error sistemático ± 2 µm Reproducibilidad ± 3 %
Radiológico (5.6)	8 Retrodifusión de rayos beta (5.6.4)	X	nd	nc	l/p	ISO 3543	Error sistemático ± 2 % ó ± 0,5 µm, el que sea superior
Fototérmico (5.7)	9 Propiedades térmicas (5.7.4)	X	nd	nc	l/p	EN 15042-2	Sin datos disponibles
Acústico (5.8)	10 Instrumento de medida de espesor por ultrasonidos (5.8.4)	X	nd	c	l/p/f		Error sistemático ± 2µm Reproducibilidad ± 5 %

^a X/Fe/NFe = cualquier sustrato/metal ferromagnético/metal no-ferromagnético

^b d = destructivo.
nd = no-destructivo
c = contacto
nc = sin contacto

l/p/f = de aplicación en el laboratorio / áreas de producción / trabajo de campo

^c Normas (inter)nacionales representativas donde se describen los métodos.

^d Datos de precisión para los métodos que están disponibles de los fabricantes del instrumento y se pueden verificar con patrones de calibración que se pueden trazar. Las cifras mostradas se basen en medidas empíricas ofrecidas por los fabricantes del instrumento y por los usuarios. Son posibles variaciones.

^e Depende del procedimiento.

Tabla A.3 – Determinación del espesor de película de pinturas en polvo antes de su curado

Fundamento del método	Método	Sustrato ^a	Campo de Aplicación ^b			Norma ^c	Exactitud/Precisión ^d
Gravimétrico (6.2)	11 Mediante diferencia de masa (6.2.4)	X	nd	nc	l		Sin datos disponibles
Magnético (6.3)	12A Instrumento de Inducción magnética (6.3.4)	Fe	nd/d ^e	c	l/p	ISO 2178	Error sistemático ± 2 µm Reproducibilidad ± 3 %
	12B Instrumento de Corrientes Inducidas (6.3.5)	NFe	nd/ d ^e	c	l/p	ISO 2360	Error sistemático ± 2 µm Reproducibilidad ± 3 %
Fototérmico (6.4)	13 Propiedades térmicas (6.4.4)	X	nd/ d ^e	nc	l/p	EN 15042-2	Error sistemático ± 2 % o ± 3 µm

^a X/Fe/NFe = cualquier sustrato/metal ferromagnético/metal no-ferromagnético

^b d = destructivo.
nd = no-destructivo
c = contacto
nc = sin contacto
l/p/f = de aplicación en el laboratorio / áreas de producción / trabajo de campo

^c Normas (inter)nacionales representativas donde se describen los métodos.

^d Datos de precisión para los métodos que están disponibles de los fabricantes del instrumento y se pueden verificar con patrones de calibración que se pueden trazar. Las cifras mostradas se basan en medidas empíricas ofrecidas por los fabricantes del instrumento y por los usuarios. Son posibles variaciones.

^e Depende del procedimiento.

Bibliografía

- [1] ISO 1101 Especificaciones geométricas de producto (GPS). Acotado geométrico. Tolerancias de forma, orientación, localización y alabeo.
- [2] ISO 1463 Recubrimientos metálicos y capas de óxido. Medida del espesor. Método de corte micrográfico.
- [3] ISO 2178 Recubrimientos metálicos no magnéticos sobre metal base magnético. Medida del espesor. Método magnético.
- [4] ISO 2360 Recubrimientos no conductores sobre materiales base conductores no magnéticos. Medición del espesor de recubrimiento. Método por corrientes inducidas sensibles a la variación de amplitud.
- [5] NC ISO 2811-1 Pinturas y barnices. Determinación de la densidad. Parte 1: Método del picnómetro.
- [6] ISO 2811-2 Pinturas y barnices. Determinación de la densidad. Parte 2: Método del cuerpo de inmersión (plomada).
- [7] ISO 2811-3 Pinturas y barnices. Determinación de la densidad. Parte 3. Método de oscilación.
- [8] ISO 2811-4 Pinturas y barnices. Determinación de la densidad. Parte 4. Método del cilindro a presión.
- [9] ISO 3233 Pinturas y barnices. Determinación de la fracción volumétrica de materia no volátil mediante la medición de la densidad en un recubrimiento seco.
- [10] ISO 3543 Recubrimientos metálicos y no metálicos. Medida del espesor. Método por retrodifusión de rayos beta.
- [11] ISO 4518 Recubrimientos metálicos. Medición del espesor. Método perfilométrico.
- [12] ISO 8130-2 Recubrimientos en polvo. Parte 2: Determinación de la densidad mediante el picnómetro de comparación de gas (método de referencia)
- [13] ISO 8130-3 Recubrimientos en polvo. Parte 3: determinación de la densidad mediante el picnómetro de desplazamiento de líquido.
- [14] ISO 19840 Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas protectores de pintura. Medición y criterios de aceptación del espesor de películas secas en superficies rugosas.
- [15] ASTM D 1005 Standard test methodes for measurement of dry film thickness of organic coatings using micrometers.
- [16] ASTM D 1212 Standard test methods for measurement of wet film thickness of organic coatings.

[17] ASTM D 1214 Standard practice for measurement of wet film thickness by Notch Gages.

[18] EN 15042-2 Medición del espesor de los recubrimientos y caracterización de las superficies Mediante ondas de superficie. Parte 2: Guía para la medición del espesor de recubrimiento mediante el método fototérmico.

[19] DIN 50933 Measurement of coating thickness by differential measurements using a stylus instrument.

[20] DIN 50986 Measurement of coating thickness. Wedge cut method for measuring the thickness of paints and related coatings.