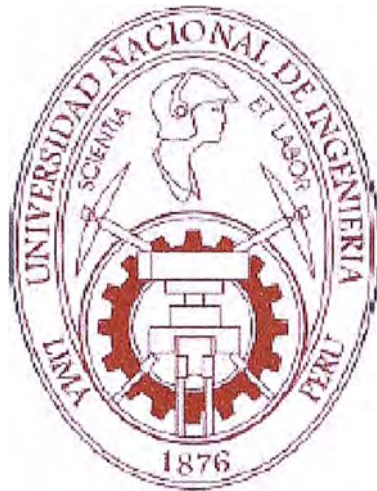


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y TEXTIL



**" CONTROL DE CALIDAD EN APLICACIÓN DE PINTURAS
INDUSTRIALES"**

INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE :

INGENIERO QUIMICO

POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS

PRESENTADO POR :

TATIANA INES CASTILLO BERNAOLA.

LIMA-PERU

2004

A Fernando, Juana e Inés

RESUMEN

La corrosión, es un enemigo silencioso que puede llegar a costar elevadas sumas de dinero al empresariado mundial, una forma existente de protección contra la corrosión a nivel industrial es por medio de recubrimientos especializados, tales como las pinturas.

El tema del trabajo se centra en los distintos procedimientos y consideraciones a tener en cuenta durante la aplicación de pinturas industriales (ricas en zinc, epóxicas, poliuretanos, etc). Estas incluyen procedimientos estándares de trabajo y sugerencias para el empleo de determinados equipos para el control, medición y aplicación de las pinturas.

El aseguramiento de la calidad durante una aplicación debe efectuarse desde la preparación de la superficie, que incluye una revisión del abrasivo, el perfil de rugosidad conseguido, una verificación del estado de los equipos que se emplearán en la aplicación y una serie de controles post aplicación, que dejarán al propietario, la seguridad que su bien se encuentra protegido contra la corrosión.

INDICE

CAPITULO I	: INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO II	: IMPORTANCIA DEL CONTROL DE CALIDAD EN LA APLICACIÓN DE PINTURAS	5
CAPITULO III	: CONTROL DE CALIDAD ANTES DE LA APLICACIÓN	6
3.1	Revisión de Equipos	6
3.1.1	Compresora	6
3.1.2	Boquillas de Arenado	7
3.1.3	Equipos de Pintado	8
3.2	Evaluación del Abrasivo	11
3.2.1	Arena	11
3.2.2	Escoria	12
3.2.3	Granalla	13
3.2.4	Análisis de Cloruros en Abrasivos	15
3.3	Preparación de Superficie	15
3.3.1	Condiciones Ambientales	15
3.3.2	Grados de Preparación de Superficie	16
3.3.3	Evaluación del Grado de Limpieza y Perfil de Rugosidad	18

3.4	Normas Técnicas Aplicables	20
CAPITULO IV	: CONTROL DE CALIDAD DURANTE Y DESPUÉS DE LA APLICACIÓN	21
4.1	La aplicación de las Pinturas	21
4.1.1	Condiciones Ambientales	21
4.1.2	Preparación de la Pintura	22
4.1.3	Aplicación	22
4.1.3.1	Cálculo del Rendimiento Teórico y Práctico	23
4.1.3.2	Optimización de las pérdidas de Pintura.....	24
4.1.4	Reforzamiento de Puntos Críticos	26
4.2	Evaluación de la Película Seca	27
4.2.1	Apariencia de la película	27
4.2.2	Espesor de Película Seca	27
4.2.3	Adherencia	28
4.2.4	Continuidad de Película	29
4.2.5	Instrumentos empleados para la evaluación	30
4.2.6	Normas Técnicas Aplicables	30
CAPITULO V	: CONCLUSIONES	31
CAPITULO VI	: BIBLIOGRAFÍA	33
CAPITULO VII	: ANEXOS	34

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Se sabe bien que las capas de pintura deben aplicarse correctamente, para que puedan proteger adecuadamente al acero de los ambientes agresivos.

El constante desarrollo de nuevas formulaciones de pintura para obtener mejor durabilidad y por tanto protección, han hecho variar las condiciones clásicas de aplicación, donde la tolerancia a las variaciones en las condiciones de aplicación y de la preparación de la superficie resulta ser pequeña. Por consiguiente, el control de estas condiciones se ha vuelto más exigente para garantizar el éxito de un sistema de pinturas.

La *preparación de superficie* es la primera consideración, esto puede afectar la adherencia de las capas y por consiguiente, la protección a un ataque externo sobre la superficie. El nivel de limpieza superficial también determina si quedan elementos corrosivos bajo la película de pintura que puede dañar la superficie. La solución al problema consiste en retirar los contaminantes antes del proceso de aplicación de la capa de pintura y supervisar niveles aceptables de estas, como las sales solubles en las superficies o presencia de cloruros en los abrasivos.

La segunda consideración es el *perfil de rugosidad obtenido* luego de realizada la preparación de superficie. La altura del perfil y el espesor de película están directamente relacionados, el perfil debe ser mayor cuando se tiene que aplicar un mayor espesor de película de pintura, que debe cubrir los picos dejados por el abrasivo de forma adecuada. Además, la profundidad de aumento de perfil aumenta el área real de la superficie y por lo tanto el consumo de pintura, a este volumen adicional se le conoce como volumen muerto.

Luego de estas dos primeras consideraciones, es necesario asegurar que las *condiciones climáticas* sean las óptimas ya que la aplicación de las capas deben ser realizadas en forma satisfactoria para evitar atrapar humedad bajo la película de pintura y así afecte las propiedades finales de ésta.

Para ello se requiere controlar la humedad relativa, temperatura del aire y temperatura de la superficie, para asegurar que el punto de rocío se encuentre por lo menos 3°C por debajo de la temperatura de la superficie, impidiendo la condensación de la humedad del ambiente.

Aún cuando se apliquen pinturas tolerantes a la humedad o tolerantes a ciertos tipo de óxidos, las condiciones de aplicación no pueden tomarse a la ligera, ya que se requiere la supervisión del clima para un control apropiado de la película de pintura.

Habiendo establecido que la preparación de superficie y las condiciones climáticas son favorables, también se deben cumplir con los requisitos de la especificación en cuanto a espesores de película de pintura, adherencia del sistema de pinturas aplicado, brillo, continuidad de la película de pintura, etc. Estos parámetros deben ser medidos y controlados con los instrumentos de inspección necesarios y bajo las normas técnicas aplicables.

CAPITULO II

IMPORTANCIA DEL CONTROL DE CALIDAD EN LA APLICACIÓN DE PINTURAS

El propósito del control de calidad durante y después de la preparación de superficie y aplicación de recubrimientos es el asegurar el cumplimiento de las especificaciones de trabajo y los requerimientos mínimos de aplicación de los diversos recubrimientos.

Cualquier recubrimiento o sistema de recubrimientos puede tener un mal desempeño si es aplicado en forma incorrecta o si es aplicado sobre una superficie con deficiente preparación.

Son cuatro los aspectos más importantes a tener en cuenta al realizar un control de calidad : maniobras o actividades preliminares de control de equipos y abrasivos, preparación de superficie, aplicación e inspección final.

Para el correcto aseguramiento de la calidad se considera realizar las inspecciones con los equipos de inspección de acuerdo a las normas internacionales vigentes.

A continuación, hemos dividido el control de calidad en dos partes: las actividades relacionadas antes de la aplicación del sistema de recubrimientos y las que comprenden las actividades durante y después de la misma.

CAPITULO III

CONTROL DE CALIDAD ANTES DE LA APLICACIÓN

Antes de realizar una aplicación de pinturas industriales, se debe tener en cuenta una serie de aspectos, que van desde la adquisición del abrasivo hasta la elección de un equipo de pintura adecuado para el sistema a aplicar.

Para ello, a continuación se describe paso a paso un sencillo procedimiento para asegurar que el trabajo pueda proceder sin complicaciones y de esta forma garantizar la correcta aplicación.

3.2. REVISIÓN DE EQUIPOS

3.2.1. COMPRESORA

Deben tener filtros de aceite (se llaman filtros de aceite para purificar el aire), con presión de salida del compresor de 100 a 120 psi. Deben contar con condensadores y purga de agua.

El uso de filtros de aceite es para evitar que exista contaminación de las superficie que se va a preparar.

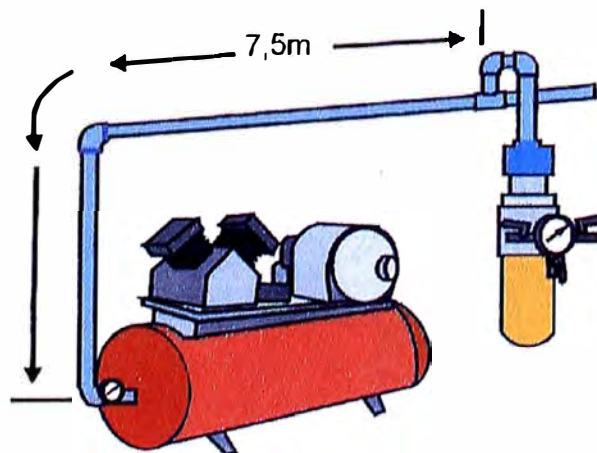


Figura 1 : Distancia entre la compresora y el filtro (el filtro se debe encontrar en serie).

- La distancia adecuada para colocar el filtro de aceite es a los 7.5 metros de la salida del aire.

3.1.2. BOQUILLAS DE ARENADO

Las boquillas de arenado cumplen un papel importante en la preparación de superficie por chorro abrasivo, ya que de ellas depende la velocidad de salida del mismo y puede determinar la velocidad de avance del trabajo.

Existen dos tipos de boquillas:

Los de *perfil recto*, con una presión de 100 psi se obtiene una velocidad de salida del abrasivo de 300 km/h.

Los de *perfil venturi*, con una presión de 100 psi, obtiene una velocidad de salida del abrasivo de 700 km/h.

Las boquillas venturi, son recomendados para superficies nuevas que tienen la cascarilla de laminación (mill scale).

Las boquillas rectas son más usadas para superficies que ya no tienen la cascarilla de laminación.

Diámetro interno de la boquilla		Rendimiento (m ² /h)	Consumo de aire (pcm)	Consumo de arena (kg/h)	Potencia del motor (hp)
Pulg	mm				
¼	6.4	10	81	224	17
5/16	8.0	15	137	368	29
3/8	9.6	20	196	524	41
7/16	11.2	30	254	720	53
½	12.7	40	338	920	70

Tabla 1 : Relación de boquillas de arenado con rendimiento y consumo de arena

* pcm : pies cúbicos por minuto

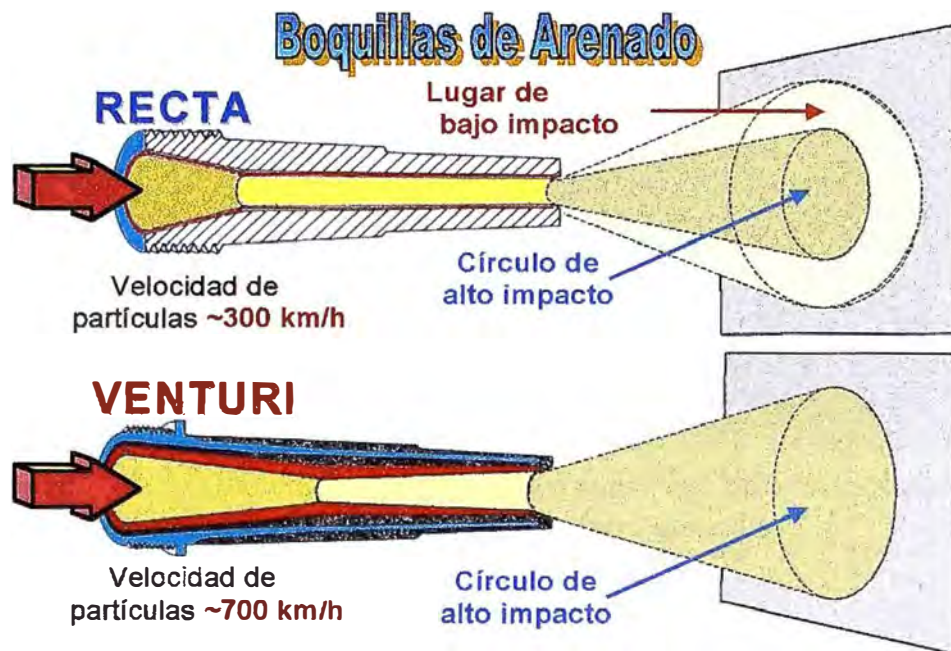


Figura 2 : Círculos de impacto del abrasivo empleando boquillas rectas y del tipo Venturi.

3.1.3 EQUIPOS DE PINTADO

Los equipos de pintado se pueden clasificar en dos grandes grupos:

Equipos Convencionales (con aire)

Son equipos que emplean el aire comprimido como medio para pulverizar la pintura. El equipo debe contar con sus respectivos manómetros para regular la presión en el tanque y la presión de pulverizado.

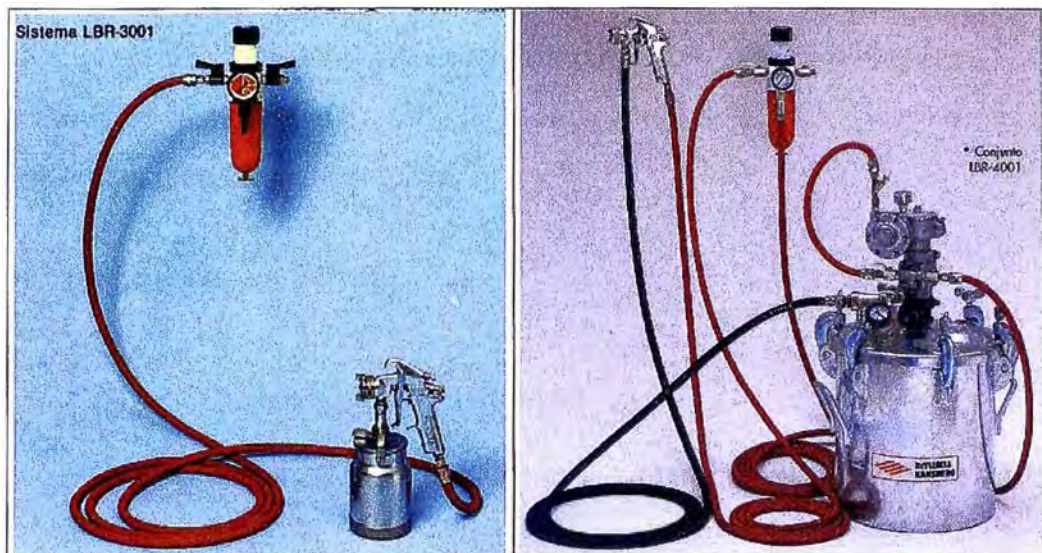


Figura 3 : Diferentes equipos convencionales para la aplicación de pinturas. De succión (izquierda) de alta presión (derecha)

PISTOLA JGA 502 0 503 De Vilbiss							
Casquillo	Boquilla	Aguja	Tipo de Alimentación	Presión (psi)	Consumo De Aire (pcm)	Largo De Abanico (cm)	Combinación Recomendada Para Pinturas:
30	EX	EX	Succión	30 40 50	7,4 9,0 10,0	23 a 30	Finas y livianas Ej. Esmaltes primers solamente en vasos
704	FX	FX	Presión	30 40 50	10.1 12.4 14.8	25 a 30	Livianas, medianas y pesadas. Ej. Pint. Indust. en tanques de presión
67	EX	EX	Presión	30 40 50	16.5 19.0 21.7	25 a 30	Pesadas y viscosas Ej. Altos sólidos y epoxy alquitrán.

Tabla 2 : Modelos de equipos de aplicación tipo Convencional . Conociendo mejor las combinaciones de casquillo / boquilla / aguja, el pintor puede aplicar cantidades mayores de pintura por hora y de manera más uniforme.

EX, FX: nomenclaturas para diferentes diámetros de salida de la boquilla.

Los casquillos también tienen distinta nomenclatura según el número de agujeros que presentan para la salida del aire.

*pcm : pies cúbicos por minuto

Equipos Airless (sin aire)

Estos equipos pulverizan la pintura empleando una bomba que lanza la pintura a grandes presiones, sin necesidad de emplear aire comprimido.

Una buena selección de boquilla y la presión adecuada del equipo ayudará a que se obtenga mejor rendimiento y un trabajo de calidad.

Diámetro Del Orificio En Pulgadas	Viscosidad De La Pintura	Tipo De Pintura	Presion De Trabajo (psi)
0,007 a 0,010	Muy fina	Solventes y agua	Debajo de 500
0,011 a 0,013	Fina	Lacas y selladores	600
0,013 a 0,018	Mediana	Bases (primers) y barnices	1800
0,015 a 0,031	Viscosa	Látex, esmaltes epoxicos poliuretano	2500
0,023 a 0,072	Muy viscosa	Pinturas de alto espesor, epoxicas , coal tar	Arriba de 3000

Tabla 3 : Selección de boquillas para equipos airless



Figura 4 : Foto de Equipo Airless

3.2. EVALUACIÓN DE ABRASIVO

El uso de abrasivos es importante en la preparación de la superficie mediante chorreado abrasivo ya que impacta la superficie del metal, removiendo los óxidos, pinturas y crea el perfil de rugosidad.

Para mejores resultados y descartar contaminación por sales, el abrasivo debe ser analizado, tanto en contenido de sales solubles, como en su dureza y granulometría.

3.2.1. ARENA

Se aconseja emplear arena de río

Esta debe tener las siguientes características:

Granos de adecuada dureza: 5 –6 en la escala de Mohs

Adecuada distribución de tamaño de grano; malla entre 18 y 40.

Bajo contenido de sales potencialmente agresivas (cloruros, sulfuros)

Para interiores de tanques: contenido de cloruros menor a 40 ppm

Para superficies exteriores. Contenido de cloruros menor a 100 ppm

Con las características anteriores se logrará lo siguiente

Adecuado grado de Limpieza.

Obtener un adecuado perfil de rugosidad.

Producción de poca cantidad de polvo.

Buen rendimiento $m^2/hh.$ (metro cuadrado por hora hombre)

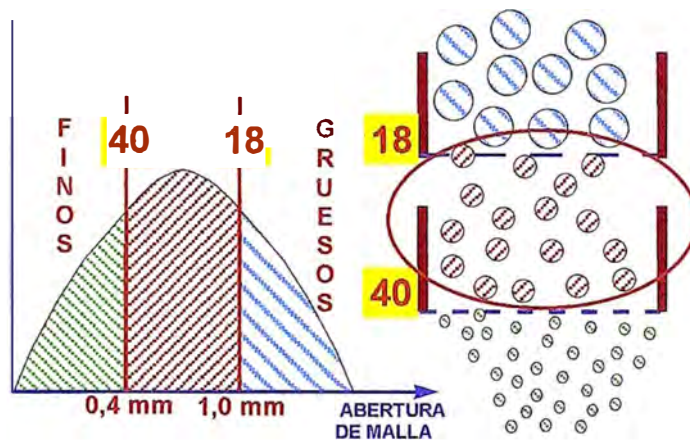


Figura 5 : Selección de granulometría de la arena

3.2.2. ESCORIA

La escoria es un abrasivo de bajo costo que se encuentra dentro de la categoría de los subproductos, son producidos generalmente en plantas de fundición, sus formas angulares las hacen ideales para una eficiente limpieza con chorro abrasivo.

Puede ser de los siguientes tipos.

Escoria de Cobre	: Silicato de Cobre
Escoria de alto horno	: Silicato de Calcio
Escoria de Níquel	: Silicato de Níquel
Escoria de Coque	: Silicato Ferroso
Oxido de Aluminio fundido	: Silicato de Aluminio

3.2.3. GRANALLA

La granalla es un abrasivo de acero bastante duro que es fabricada especialmente para su uso en preparación de superficies.

Es importante el tamaño de la granalla para no obtener perfiles de rugosidad muy altos. Los tipos de granalla recomendados para pinturas son:

Granalla esférica: S-230, S-280

Granalla angular: G-50, G-40

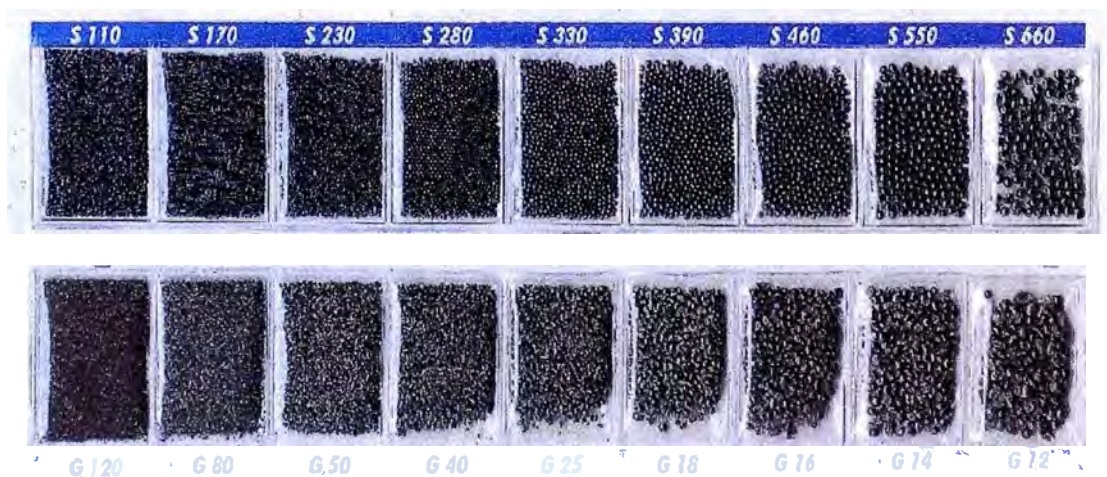


Figura 6 : Granallas tipo shot y tipo grit.

Abrasivo	Clasificación	Abertura de la malla (mm)	Número de la malla	Altura máxima de perfil (μM)	Rugosidad media (μM)
ARENA	MUY FINA (80-100)	0,2	80	40	20
	FINA (40-80)	0,4	40	50	30
	MEDIA (18-40)	1,0	18	65	45
	GRUESA (12-50)	1,7	12	70	55
GRANALLA ESFÉRICA	S-230	0,8	20	75	55
	S-280	1,0	18	80	65
	S-330	1,2	16	85	70
	S-390	1,4	14	90	75
GRANALLA ANGULAR	G-50	0,7	25	85	70
	G-40	1,0	18	90	75
	G-25	1,2	16	100	80
	G-16	1,7	12	200	150

Tabla 4 : Cuadro de perfiles de rugosidad obtenidos con diferentes abrasivos



Figura 7 : Perfiles de rugosidad obtenidos con Granalla tipo shot y tipo grit respectivamente.

3.2.4 Análisis de cloruros en abrasivos

Dentro de los abrasivos empleados en los trabajos de arenado en campo abierto, la arena ocupa una posición importante por su bajo costo y fácil obtención, sin embargo, dependiendo del origen, la arena puede estar contaminada con otros materiales que en absoluto interesan al proceso de arenado. Estos materiales pueden ser arcilla, mica, carbón, conchuelas y sales o compuestos solubles.

Las sales o compuestos solubles son los más perjudiciales pues provocan la formación de ampollas por el fenómeno llamado ósmosis, cuando la pintura es sometida a inmersión y/o ambientes húmedos.

El método más empleado para la determinación de la presencia de sales y compuestos solubles en la arena es el método de conductividad ASTM D4940-89; ISO 11.126.

3.3. PREPARACIÓN DE SUPERFICIE

3.3.1. CONDICIONES AMBIENTALES

La superficie preparada debe ser pintada antes que aparezca una coloración pardusca. Este amarillamiento es debido al óxido que empieza a formarse (flash rust). Mientras el óxido sea incoloro no es preocupante.

Es importante tener en cuenta las condiciones ambientales durante el proceso de arenado y el *tiempo entre el arenado y el pintado*:

En un ambiente rural sin polución con humedad relativa entre 70 a 85% el tiempo entre el arenado y el pintado deberá ser menor de 4 horas. Entre 30 a 70 % de humedad relativa, el tiempo debe ser menor a 8 horas.

En un ambiente industrial agresivo o a la rivera del mar menos de 2 horas.

Si hubiera polvo o llovizna de torres de enfriamiento, se debe colocar una cobertura.

Comúnmente se ha usado el método de bulbo húmedo y bulbo seco para determinar la humedad relativa con un psicrómetro giratorio. Estos instrumentos son relativamente baratos, pero ellos exigen de cuidado, cierta habilidad y el uso de tablas psicrométricas para obtener los valores exactos.

Existen actualmente medidores electrónicos de humedad. Estos son más simples de operar y proporcionan datos de varias variables a la vez, de forma más rápida; miden humedad relativa, temperatura del aire y el punto de rocío, tan solo hace falta tomar la temperatura superficial del acero a pintar para poder determinar si la diferencia entre dichos valores es mayor a 3°C.

Instrumentos de medición necesarios:

Psicrómetro tipo bacharach y digital

Ábaco para encontrar la temperatura del punto de rocío.

Termómetro de superficie (°C)

3.3.2. GRADOS DE PREPARACIÓN DE SUPERFICIE

En el caso del acero estructural, es necesario retirar el mill scale o cáscara de laminación, así como el resto de óxido presente.

También es necesario remover los contaminantes de la superficie. La limpieza debe realizarse con abrasivos: granallas del tipo grit o shot, arenas, escorias, etc. que produzcan un perfil de rugosidad adecuado para que la película de pintura presente buena adherencia.

Después de la limpieza con chorro abrasivo, se deben controlar el grado de limpieza y el perfil de rugosidad obtenido.

Según la norma SSPC, se tienen los siguientes grados de preparación de la superficie:

SSPC-SP5 : Chorro Abrasivo al metal blanco

El grado de metal blanco consiste en una limpieza de manera tal que la superficie se apreciará de un color gris blanco, uniforme y metálico. La superficie mirada sin aumentos deberá estar libre de toda contaminación y apreciarse levemente rugosa para formar un perfil adecuado que permita un buen anclaje de los revestimientos.

SSPC-SP6 : Chorro Abrasivo Grado Comercial

El arenado comercial debe encontrarse libre de rastro de aceite, grasa, polvo, cascara de laminación, óxidos, pintura, productos de corrosión u otros agentes extraños, excepto por algunas manchas o sombras. El sombreado no debe ser mayor al 33% del área total.

SSPC SP-10 : Chorro Abrasivo Grado Metal Cercano al Blanco

Se define como una limpieza en la cual se elimina toda suciedad, oxido e laminación, herrumbre, pintura y cualquier materia extraña de la superficie. Se permite un 5% de pequeñas sombras causadas por manchas de corrosión o manchas de restos de pinturas antiguas.

3.3.3. EVALUACIÓN DEL GRADO DE LIMPIEZA Y PERFIL DE RUGOSIDAD

Generalmente se usan dos métodos para obtener el perfil de rugosidad. Se emplea un comparador visual de perfil de superficie para evaluar el perfil de un arenado pero esta técnica no mide la profundidad del perfil y por ello se trata de una evaluación superficial y puede prestarse a interpretaciones subjetivas.

El método mas popular e indicado para todos los casos consiste en medir la altura de la cresta o valle del total del perfil, empleando una cinta para producir una réplica de la impresión del perfil que es medida en un dial o micrómetro o rugosímetro.



Figura 8 : Lupa y medidores de rugosidad (rugosímetros)

Después del proceso de arenado, se evaluará si se cumple el grado de limpieza especificado.

Asimismo, se verificará el perfil de rugosidad necesario para el buen anclaje del sistema de pintura.

Para obtener una buena adherencia, la superficie debe presentar un perfil de rugosidad media de 1/4 a 1/3 de la capa de pintura o de la sumatoria de espesores del sistema total.

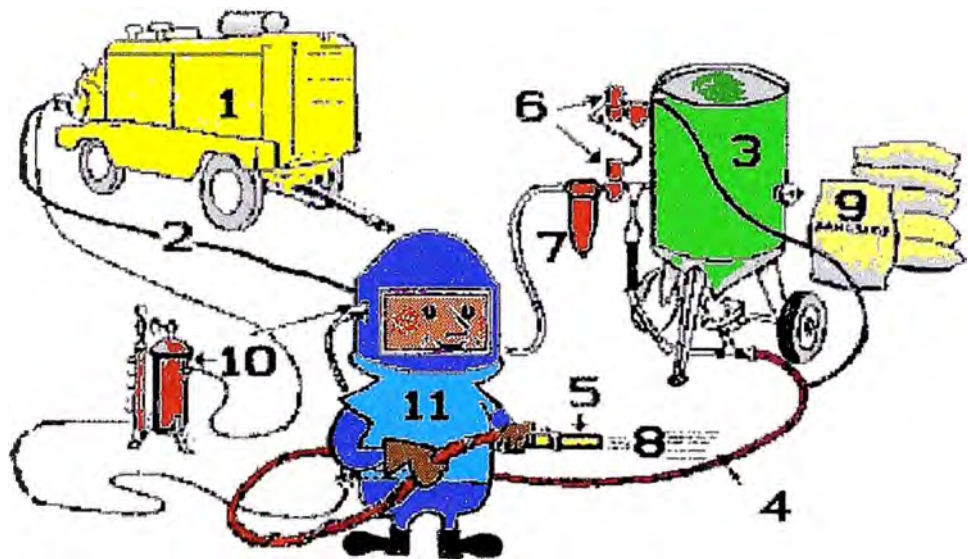


Figura 9 : Equipo necesario para limpieza con chorro abrasivo:

- 1 - compresora
- 2 - manguera de aire
- 3 - máquina de arenado (tolva)
- 4 - manguera del abrasivo
- 5 - boquilla de arenado
- 6 - válvula de control
- 7 - filtro de aire
- 8 - abrasivo a alta presión
- 9 - abrasivo
- 10 - casco de seguridad y filtro de aire
- 11 - ropa de cuero

3.4 NORMAS TÉCNICAS APLICABLES

Para el control y evaluación de calidad en la etapa de **preparación de superficie** se emplearán las siguientes normas (ver anexo):

Determinación de contaminantes en el abrasivo

Norma ASTM D 4940

Determinación de aceite o agua en el aire comprimido :

Norma ASTM D4285

Grado de preparación de superficie: Comparador visual:

SSPC - VIS 01

Grado de perfil de rugosidad :

Norma ASTM D 4417

Medición de condiciones ambientales:

Norma ASTM E 33

CAPITULO IV

CONTROL DE CALIDAD DURANTE Y DESPUÉS DE LA APLICACIÓN

4.1. LA APLICACIÓN DE LAS PINTURAS

4.1.1 CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura ambiental: Mínima 10° C y máxima 40° C. Cerca a los extremos es necesario consultar al fabricante de las pinturas.

Temperatura de la pintura: La pintura debe estar entre 16° a 30° C.

Temperatura de la Superficie: Mínima 10° C y máxima 55° C. Cerca de los valores extremos podrían ser necesarias técnicas especiales de dilución y aplicación.

Humedad relativa: Entre 30% a 60%, como máximo 85%; la diferencia entre la temperatura de superficie y la temperatura del punto de rocío debe ser mayor o igual a 3°C.

Instrumentos de inspección necesarios:

- Psicrómetros tipo bacharach o digitales
- Termómetro de superficie



Figura 10 : Fotos de psicrómetros digitales y termómetros de superficie

4.1.2. PREPARACIÓN DE LA PINTURA

Antes de preparar las pinturas se debe verificar las hojas técnicas, y leer los rótulos en cada lata, para no confundir los componentes A y B (catalizador) de las pinturas.

Las pinturas deben ser mezcladas de acuerdo a la relación de mezcla indicada en las hojas técnicas, para que puedan ser aplicadas y curen correctamente.

Para proporciones menores a un galón deben contar con envases graduados para medir en volumen la cantidad exacta de la parte A y la parte B.

Sobre el componente A adicionar el componente B con agitación constante, hasta homogenización completa, adicionar el diluyente necesario y dejar reposar por 10 a 15 minutos , tiempo conocido como tiempo de inducción.

Evitar usar diluyentes no recomendados por el fabricante.

4.1.3. APLICACIÓN

Antes de iniciar la aplicación, se debe probar el abanico para verificar que las boquillas no estén obstruidas o desgastadas.

La aplicación deberá realizarse superponiendo la pasada anterior en un 50 %

Durante la aplicación es conveniente medir cada cierto tiempo el espesor de película húmeda.

Después de aplicar la primera capa y antes de aplicar la segunda capa se deberá reforzar los cordones de soldadura y los cantos y aristas con brocha.

4.1.3.1 CÁLULO DEL RENDIMIENTO TEÓRICO Y PRÁCTICO

El rendimiento práctico y teórico se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento Teórico} \quad R_t = \frac{149.02 \times \% \text{ SV}}{\text{EPS}} \quad \text{m}^2/\text{galón}$$

donde: %SV = porcentaje de sólidos en volumen
 EPS = espesor de película seca en mils

$$\text{Rendimiento Práctico} \quad R_p = \text{Rendimiento teórico (factor)} \quad \text{m}^2/\text{galón}$$

factor = 1-%pérdida

Para efectos de cálculo de la cantidad de pintura a emplear, se calcula un porcentaje de pérdida de 40% que es la pérdida común al aplicar las pinturas con equipos.

Cabe recordar que las pérdidas pueden variar, dependiendo del método de aplicación, geometría de la superficie, trasegado de producto, condiciones ambientales y rugosidad de la superficie.

EJEMPLO:

Calcularemos el Rendimiento teórico y práctico de una pintura de 80% de sólidos que será aplicada a un espesor de película seca de 4 mils.

Solución:

Tenemos como datos % Sólidos en volumen = 80% = 0.80
 EPS = espesor de película seca = 4 mils

entonces reemplazando en la fórmula indicada líneas arriba

$$R_t \text{ en m}^2/\text{galón} = 149.02 \times (0.80)/4 = 30.55 \text{ m}^2 / \text{galón}$$

calculamos rendimiento práctico en base a un 40% de pérdidas por aplicación.

$$R_p \text{ en m}^2/\text{galón} = R_t \times (0.60) = 18.33 \text{ m}^2 / \text{galón}$$

Es necesario calcular los rendimientos según los espesores especificados antes de realizar la aplicación, de tal manera de preparar tan solo la cantidad de pintura necesaria para cubrir el área y evitar pérdidas innecesarias.

4.1.3.2 OPTIMIZACIÓN DE LAS PERDIDAS DE PINTURA

Concepto y cálculo del volumen muerto.

Una superficie rugosa y áspera, indudablemente requerirá una mayor cantidad de pintura que una superficie lisa. Tiene en este aspecto mucha importancia la granulometría del material empleado en una limpieza mediante chorro abrasivo. Un abrasivo de grano grueso y duro, deja un perfil de corte mucho más burdo y áspero que uno de grano más fino y blando.

La rugosidad nos provoca un considerable aumento de la superficie real o topográfica con respecto a la superficie proyectada. Este aspecto debe necesariamente ser considerado con el objeto de no inducir a errores en los cálculos.

Es aquí donde se emplea la definición de Volumen Muerto, que se le conoce como la cantidad de pintura que se utilizará para cubrir el aumento de área provocado por el perfil de rugosidad conseguido durante los trabajos de preparación de superficie.

El cálculo se realiza teniendo en cuenta el coeficiente de volumen muerto, que depende a su vez del perfil de rugosidad. Así tendremos:

Consumo de Pintura X Rugosidad

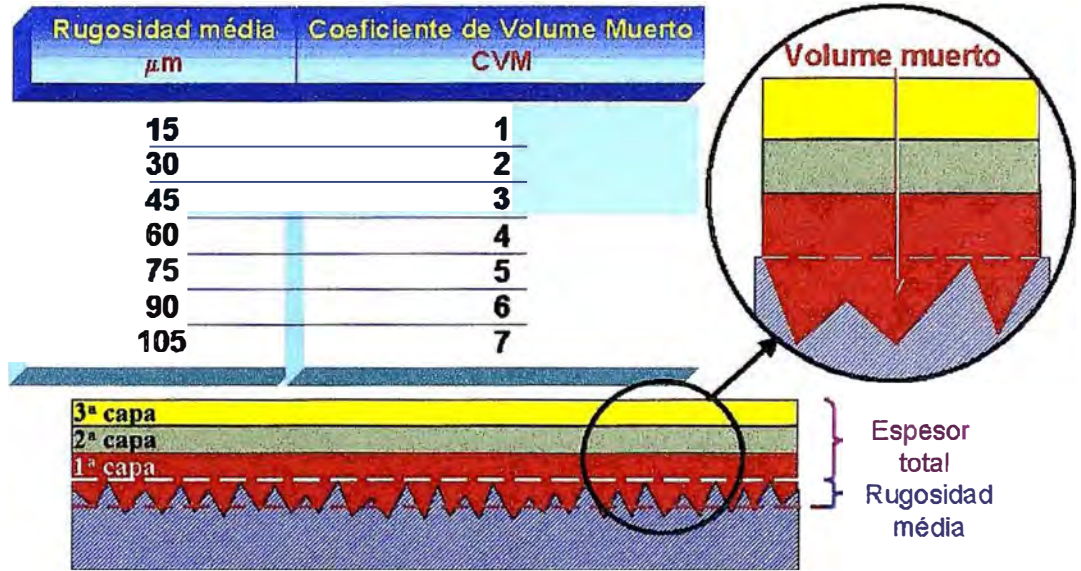


Figura 11: Cuadro de coeficiente de volumen muerto y vista del significado del volumen muerto.

$$\text{Volumen pintura (litros)} = \frac{\text{CVM}}{\text{SV}} \text{ litros /m}^2$$

*SV : sólidos en volúmen

* CVM : coeficiente de volumen muerto

EJEMPLO:

Si vamos a aplicar una pintura de 80% de sólidos en volumen y se ha obtenido un perfil de rugosidad (medido) de 1.8 mils, calcularemos el volumen muerto.

Solución:

1.8 mils = 45.7 micras de la tabla, el Coeficiente de volumen muerto es 3.

$$\text{en la fórmula Volumen Muerto} = \frac{3}{80} \quad 0.0375 \text{ litros/m}^2$$

es decir si tenemos 5000 metros cuadrados por pintar, entonces las pérdidas de pintura por concepto de volumen muerto será:

$$5000 \times 0.0375 = 187.5 \text{ litros} = 49.5 \text{ galones de pintura}$$

Con el dato de volumen muerto y de rendimientos de pintura, podemos conocer las cantidades necesarias de pintura a emplear. Si se desea reducir las pérdidas por este concepto, tratar de

disminuir el perfil de rugosidad, teniendo en cuenta el perfil mínimo requerido por el sistema de pinturas.

4.1.4. REFORZAMIENTO DE PUNTOS CRITICOS

Después de aplicar la primera capa y antes de aplicar la segunda capa se deberá reforzar los cordones de soldadura los cantos vivos y aristas con brocha. Se realiza esta operación que algunos contratistas pueden tomarlo como “adicional” ya que debido a la tensión superficial de las pinturas, éstas tiene una pobre retención en las aristas y cantos vivos, obteniéndose aproximadamente un tercio del espesor en áreas planas.



Figura 12: Personal realizando refuerzos a los cordones de soldadura y cantos vivos en interior de tanque.

4.2 EVALUACIÓN DE LA PELÍCULA SECA

4.2.1. APARIENCIA DE LA PELÍCULA

Se pueden evaluar : textura, brillo, color, nivelamiento etc.

Las medidas del brillo son logradas midiendo la luz reflejada de una superficie al mismo ángulo que una luz incidente. El ángulo mas usado es de 60°, se emplean 20° para los valores de brillos altos y 85° para los valores de los brillos bajos.

La textura dependerá de que tan lisa se encuentre la superficie a pintar, el nivelamiento también puede variar según el método de aplicación, del tipo de pinturas o de la dilución de la mezcla.

4.2.2. ESPESOR DE PELÍCULA SECA

El espesor de la pintura aplicada sobre superficies de acero, puede ser medido con diversos tipos de instrumentos, los



Figura 13 : Medidores digitales del espesor de la película seca.

más usados, son los medidores magnéticos y/o electrónicos. La norma que se utiliza para la medición de los espesores es la SSPC- PA2 (ver anexo).

4.2.3. ADHERENCIA

Después de 7 días de curada, se realizará una prueba de adherencia. Esta prueba es destructiva.

La evaluación de la adherencia puede realizarse mediante dos normas:

Norma ASTM 3359: Método A por corte en cruz, para espesores mayores a 5 mils. Método B corte en cuadrícula, Para espesores menores a 5 mils.

Norma ASTM 4541: Permite obtener un valor cuantitativo al ejercer una fuerza de tracción sobre la pintura aplicada.



Figura 14 : Medidor de adherencia cuantitativa entre el sistema de pinturas y el sustrato en Kg/cm² ó psi. Norma ASTM 4541.

4.2.4. CONTINUIDAD DE PELÍCULA

Este análisis es necesario para superficies pintadas que estarán expuestas a ambientes agresivos, enterradas o en inmersión.

Una vez detectadas las porosidades, partes descubiertas, pin-holes y otras discontinuidades, se deberá realizar las reparaciones y reforzamientos antes que las superficies sean puestas en operación. La norma empleada es la ASTM D 5162 (ver anexo).



Figura 15 : Fotografía de un Holiday Detectors (detector de pin holes), equipos de alto voltaje para trabajos pesados de evaluación de la continuidad del sistema de pinturas tanto en áreas planas como estructuras, tuberías, vigas, perfiles, etc

4.2.5 INSTRUMENTOS EMPLEADOS PARA LA EVALUACIÓN

Para la evaluación de la película seca de pintura, se requiere de los siguientes equipos y materiales:

- Medidor digital de película seca (mils y micrones)
- Medidor de adhesión cuantitativa (psi)
- Holiday Detector, con accesorios.
- Cuchillas y cintas masking tape
- Lupa de aumento

4.2.6 NORMAS TÉCNICAS APLICABLES

Para el control y evaluación de la calidad del **sistema de pinturas aplicado** se emplearán las siguientes normas

- Medición de condiciones ambientales
Norma ASTM E 33 (Ver anexo).
- Medición de espesor de película húmeda
Norma ASTM D 4414 (Ver anexo).
- Medición de espesor de película seca
Norma SSPC-PA-2 (Ver anexo).
- Medición de grado de adherencia
Norma ASTM D 4541 (Ver anexo).
- Medición de discontinuidad de película
Norma ASTM D 5162 (Ver anexo).

CAPITULO V

CONCLUSIONES

- El presente trabajo intenta servir de guía a las empresas y/o contratistas que deseen realizar un mantenimiento o proteger alguna estructura metálica, equipo, etc; cuyo material sea de acero al carbono o algún otro que deba ser recubierto.
- Para realizar un correcto control de calidad, se aconseja el empleo de formatos y textos de ayuda para evitar pasar alguna información útil o dato por alto.
- Se puede concluir que la preparación de la superficie es la variable más importante dentro del control de la calidad, ya que si no es bien controlada podría afectar en el desenvolvimiento del sistema de pinturas más que cualquier otra, ya sea por la limpieza o el perfil de rugosidad obtenido.
- Es importante realizar un análisis de cloruros a la arena que se empleará como abrasivo ya que si se desea emplear para el arenado de interior de tanques que contendrán fluidos podría traer problemas de ósmosis (por diferencia de concentración de sales) y evidenciarse en la película de pintura como ampollamientos.
- Es necesario contar con un control de las condiciones ambientales durante la aplicación para asegurar que no quedó humedad atrapada entre el metal a proteger y la película de pintura, esto se consigue mediante el uso de los equipos , la correcta lectura de la carta psicrométrica y del criterio del inspector para poder detener un trabajo si las condiciones así lo ameritan.

- Al realizar una aplicación, es necesario tomar medidas en húmedo para luego evitar tener espesores bajos o por el contrario sobre espesores que ocasionan pérdidas innecesarias de tiempo y dinero.
- Es muy importante medir los espesores en seco de la estructura aplicada, de tal forma de asegurar que cumple a cabalidad la especificación dada. Se recuerda que el espesor de película seca sirve como una capa barrera (además de capa anticorrosiva) contra los agentes corrosivos, es por ello su importancia, sobretodo en ambientes altamente agresivos.
- Asegurar que los espesores especificados también sean cumplidos en zonas poco accesibles para los aplicadores, o zonas que por tensión superficial sean difíciles de llegar al espesor requerido con el número de capas dado inicialmente.
- Es muy importante realizar pruebas de continuidad de película en interiores de tanques de almacenamiento o en exteriores de estructuras que estarán expuestas a agentes altamente corrosivos. De esta forma se asegura que no ha quedado ni un solo poro sobre la superficie de la pintura por donde pudiesen ingresar estos agentes.
- Es importante realizar todos los controles de calidad según normas o estándares internacionales, de tal forma que cualquier persona involucrada en estas tareas pueda comprender fácilmente y continuar con el control bajo los mismos parámetros.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFIA

- 1) GNECCO Celso (2001)
Curso de entrenamiento técnico en protección anticorrosiva
Disco #1
Sherwin Williams do Brasil

- 2) PADISSON R.D.
What type of abrasive to use ?
Brochure :Wolverhampton abrasives LTD
2003 Sheffield UK

- 3) BAMHART R.
Why Surface Preparation is important ?
JPCL magazine
1997 number 7
paginas 34-41

- 4) Problem solving forum
How much time does inspection require?
PCE magazine
September 1999
Pages: 25-29

- 5) Celso Gnecco
Curso De Entrenamiento Práctico en Protección Anticorrosiva
Disco # 4
Determinación de sales solubles en arena usadas en arenado abrasivo
Sherwin Williams doBrasil

- 6) THE SOCIETY FOR PROTECTIVE COATINGS
Systems and Specifications SSPC Painting Manual Volume 2
Octava edición
Páginas : 55-60, 60-65, 72-77, 131-133,502-508

CAPITULO VII

ANEXOS

En las hojas que se presentan a continuación, se encuentran las copias de las normas ASTM empleadas en los controles de calidad que se han enumerado durante el trabajo.



Standards Search

Other Standards Products

Document Summary

View Cart

Order Now:
(Credit Card Only)

Copyright 2003 ASTM International. All rights reserved.

DOWNLOAD THIS
HISTORICAL STANDARD:

HISTORICAL STANDARD: D4414-95 Standard Practice for Measurement of Wet Film Thickness by Notch Gages

Download (PDF)
Price: \$ 32.40
Pages: 3

SUPERSEDED

[What is an Historical
standard?](#)

[VIEW OTHER STANDARDS](#)

[Active Standard](#)
[Other Historical Standards](#)

[Help Desk](#)

1. Scope

1.1 This practice describes the use of thin rigid metal notched gages, also called step or comb gages, in the measurement of wet film thickness of organic coatings, such as paint, varnish, and lacquer.

1.2 Notched gage measurements are neither accurate nor sensitive, but they are useful in determining approximate wet film thickness of coatings on articles where size(s) and shape(s) prohibit the use of the more precise methods given in Methods D1212.

1.3 This practice is divided into the following two procedures:

1.3.1 *Procedure A*--A square or rectangular rigid metal gage with notched sides is used to measure wet film thicknesses ranging from 3 to 2000 μm (0.5 to 80 mils). Such a gage is applicable to coatings on flat substrates and to coatings on articles of various sizes and complex shapes where it is possible to get the end tabs of the gage to rest in the same plane on the substrate.

1.3.2 *Procedure B*--A circular thin rigid metal notched gage is used to measure wet film thicknesses ranging from 25 to 2500 μm (1 to 100 mils). Such a gage is applicable to coatings on flat substrates and to coatings on objects of various sizes and complex shapes.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

Index Terms

circular notched gage; rectangular notched gage

Citing ASTM Standards

[\[Back to Top\]](#)

ASTM COLLECTION HISTORICAL D4414 DESIGNATION D4414 DESIGNATION D4414 DESIGNATION
D4414 DESIGNATION D4414 D4414 D4414 D4414 D4414 D4414 D4414 D4414 D4414



[Referenced Documents](#)

[Standards Search](#)

[Other Standards Products](#)

Document Summary

[View Cart](#)

Copyright 2003 ASTM International. All rights reserved.

D4285-83(1999) Standard Test Method for Indicating Oil or Water in Compressed Air

Developed by Subcommittee: [D33.05](#)
See Related Work by this Subcommittee
Adoptions:
Book of Standards Volume: 06.02

[CLICK TO VIEW ASTM LICENSE AGREEMENT](#)

Order Now:
Credit Card Only)

ACTIVE STANDARD:
[Download \(PDF\)](#)
Price: \$ 27.00
Pages: 1

Mail Delivery
Select Location:
[North America](#)
[International](#)

[What is an Active Standard?](#)

[Top Desk](#)

1. Scope

1.1 This test method is used to determine the presence of oil or water in compressed air used for abrasive blast cleaning, air blast cleaning, and coating application operations.

1.2 This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. For specific hazard statements, see Section 4.

Index Terms

compressed air; oil and water in compressed air; 23.140

[Citing ASTM Standards](#)

[\[Back to Top\]](#)

STMCOLLECTION ACTIVE D4285 DESIGNATION D4285 DESIGNATION D4285 DESIGNATION D4285 SIGNATION D4285 D4285 D4285 D4285 D4285 D4285 D4285 D4285 D4285 D4285



Standards Search

Other Standards Products

Document Summary



Order Now:
(Credit Card Only)

Copyright 2003 ASTM International. All rights reserved.

DOWNLOAD THIS
HISTORICAL STANDARD:

HISTORICAL STANDARD: D4417-93(1999) Standard Test Methods for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel

Download (PDF)

Price: \$ 32.40

Pages: 3

SUPERSEDED



What is an Historical
Standard?

1. Scope

1.1 These test methods cover the description of techniques for measuring the profile of abrasive blast cleaned surfaces in the laboratory, field, or in the fabricating shop. There are additional techniques suitable for laboratory use not covered by these test methods.

1.2 This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of whoever uses this standard to consult and establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

VIEW OTHER STANDARDS

Active Standard
Other Historical Standards

Help Desk

Index Terms

abrasive; abrasive blast cleaning; anchor pattern; surface profile; surface roughness; 17.040.20; 77.140.01

Citing ASTM Standards

[\[Back to Top\]](#)

ASTM COLLECTION HISTORICAL D4417 DESIGNATION D4417 DESIGNATION D4417 DESIGNATION
D4417 DESIGNATION D4417 D4417 D4417 D4417 D4417 D4417 D4417 D4417 D4417



Document Summary



Order Now:
Credit Card Only)

Copyright 2003 ASTM International. All rights reserved.

DOWNLOAD THIS
HISTORICAL STANDARD:

HISTORICAL STANDARD: D4541-95e1 Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers

Download (PDF)
Price: \$ 38.40
Pages: 10

SUPERSEDED



What is an Historical
Standard?

VIEW OTHER STANDARDS

Historical Standard
Other Historical Standards

1. Scope

1.1 This test method covers a procedure for evaluating the pull-off strength (commonly referred to as adhesion) of a coating on rigid substrates such as metal, concrete or wood. The test determines either the greatest perpendicular force (in tension) that a surface area can bear before a plug of material is detached, or whether the surface remains intact at a prescribed force (pass/fail). Failure will occur along the weakest plane within the system comprised of the test fixture, adhesive, coating system, and substrate, and will be exposed by the fracture surface. This test method maximizes tensile stress as compared to the shear stress applied by other methods, such as scratch or knife adhesion, and results may not be comparable.

1.2 Pull-off strength measurements depend upon both material and instrumental parameters. Results obtained by each test method may give different results. Results should only be assessed for each test method and not be compared with other instruments. There are five instrument types, identified as Test Methods A-E. It is imperative to identify the test method used when reporting results.

1.3 This test method uses a class of apparatus known as portable pull-off adhesion testers. They are capable of applying a concentric load and counter load to a single surface so that coatings can be tested even though only one side is accessible. Measurements are limited by the strength of adhesion bonds between the loading fixture and the specimen surface or the cohesive strengths of the adhesive, coating layers, and substrate.

1.4 This test can be destructive and spot repairs may be necessary.

1.5 The values stated in MPa (inch-pound) units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

Index Terms

adhesion; coatings; field; paint; portable; pull-off strength; tensile test; 87.040

[Citing ASTM Standards](#)

[Back to Top]



SEARCH FOR STANDARDS
BY TITLE, NUMBER, YEAR, OR
KEYWORD

Document Summary



Order Now:
(Credit Card Only)

Copyright 2003 ASTM International. All rights reserved.

DOWNLOAD THIS
HISTORICAL STANDARD:

HISTORICAL STANDARD: D5162-00 Standard Practice for Discontinuity (Holiday) Testing of Nonconductive Protective Coating on Metallic Substrates

Download (PDF)
Price: \$ 32.40
Pages: 4

SUPERSEDED



What Is an Historical Standard?

1. Scope

1.1 This practice covers procedures for determining discontinuities using two types of test equipment:

NEW OTHER STANDARDS

1.1.1 *Test Method A*--Low Voltage Wet Sponge, and

Active Standard
Other Historical Standards

1.1.2 *Test Method B*--High Voltage Spark Testers.

1.2 This practice addresses metallic substrates. For concrete surfaces, refer to Practice D4787.

Help Desk

1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses immediately following inch-pound units are for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

Index Terms

discontinuity; high voltage; holiday; holiday detectors; low voltage; new linings; wet sponge type instruments; spark testers; 25.220.20

Citing ASTM Standards

[Back to Top]

ASTM COLLECTION HISTORICAL D5162 DESIGNATION D5162 DESIGNATION D5162 DESIGNATION D5162 DESIGNATION D5162 DESIGNATION D5162 DESIGNATION D5162 DESIGNATION D5162 DESIGNATION D5162 DESIGNATION D5162

 **SSPC Online Bookstore****SSPC-VIS 1****Guide and Reference Photographs for Steel Surfaces Prepared by Dry Abrasive Blast Cleaning**

The revised and expanded edition of SSPC's most widely used visual reference features over 50 full-color photos of previously coated and uncoated, rusted steel surfaces before and after dry abrasive blast cleaning. Cleanliness requirements for conditions depicted are defined by the joint SSPC/NACE surface preparation specifications for white metal (SP 5/NACE 1), near-white (SP 10/NACE 2), commercial (SP 6/NACE 3), industrial (SP 14/NACE 8), and brush-off (SP 7/NACE 4) blast finishes. Appendix photographs show variations in white metal surfaces caused by different metallic and non-metallic abrasives, and by differences in profile depth, angle of view, and lighting. Photos of commercial and near-white surfaces achieved by wet abrasive blast cleaning can be found in SSPC-VIS 5/NACE VIS 9 (see below).

Item #02-12**Add to shopping cart:**

SSPC Member Price: \$115.50

Non-Member Price: \$165.00

Items of related interest:

SSPC Painting Manual, Two-Volume Hardcover Set

SSPC-VIS 5/NACE VIS 9: Guide and Reference Photographs for Steel Surfaces Prepared by Wet Abrasive Blast Cleaning

Surface Preparation Specifications

Systems and Specifications: SSPC Painting Manual, Volume 2, 8th Edition, Hardcover

Questions? Contact SSPC at 412-281-2331 or books@sspc.org

Copyright © 2000 SSPC: The Society for Protective Coatings

SSPC: The Society for Protective Coatings

GUIDE TO SSPC-VIS 1-89

Visual Standard for Abrasive Blast Cleaned Steel (Standard Reference Photographs)

1. Scope

This guide describes the use of standard reference photographs depicting the appearance of previously unpainted hot-rolled carbon steel prior to and after abrasive blast cleaning. These photographs are intended to be used to supplement the written SSPC blast cleaning surface preparation specifications. As the written specifications are the primary means to determine conformance with blast cleaning requirements, the photographs shall not be used as a substitute for these specifications. (See Note 7.1.)

2. Description

The standard consists of a series of 1:1 (actual size) color photographs which represent various conditions of unpainted steel surfaces prior to and after surface preparation by abrasive blast cleaning.

3. Reference Standards

3.1 The standards referenced in this guide are listed in Section 3.3 and form a part of this guide.

3.2 The latest issue, revision, or amendment of the reference standards in effect on the date of invitation to bid shall govern unless otherwise specified.

3.3 SSPC/NACE JOINT STANDARDS:

SSPC-SP 5/NACE No. 1	White Metal Blast Cleaning
SSPC-SP 6/NACE No. 3	Commercial Blast Cleaning
SSPC-SP 7/NACE No. 4	Brush-Off Blast Cleaning
SSPC-SP 10/NACE No. 2	Near-White Metal Blast Cleaning

4. Conditions Depicted

4.1 The standard (SSPC-VIS 1-89) illustrates four initial rust grades before surface preparation and covers the range from intact mill scale to rusted and pitted steel. These rust grades are:

Rust Grade A	Steel surface completely covered with adherent mill scale; little or no rust visible.
Rust Grade B	Steel surface covered with both mill scale and rust.
Rust Grade C	Steel surface completely covered with rust; little or no pitting visible.
Rust Grade D	Steel surface completely covered with rust; pitting visible.

4.2 The standard illustrates surfaces prepared by abrasive blast cleaning using sand. The various degrees of cleaning represented are:

SSPC-SP 5	White Metal Blast Cleaning
SSPC-SP 6	Commercial Blast Cleaning
SSPC-SP 7	Brush-Off Blast Cleaning
SSPC-SP 10	Near-White Metal Blast Cleaning

(The full titles of the SSPC/NACE joint surface preparation standards are provided in Section 3.3.)

4.3 Photographs illustrative of some variations in color, texture, and general appearance that can result from the choice of abrasive are provided in an Appendix to this standard (see also Note 7.2). The Appendix is provided for information only and does not constitute a part of this standard. The Appendix photographs represent adherent mill scale (Rust Grade A) blast cleaned to white metal (SSPC-SP 5) by various nonmetallic and metallic abrasives. The variations in appearance are depicted only for white metal; however, these same variations must be considered when assessing steel prepared to other degrees of cleaning.

5. Procedures

5.1 Select the photograph of the rust grade (A, B, C, or D) that most closely represents the appearance of the steel to be cleaned. The steel to be cleaned may contain more than one of the initial rust grades.

5.2 Determine the degree of cleaning that is specified (SSPC-SP 7, SSPC-SP 6, SSPC-SP 10, or SSPC-SP 5).

The full titles of the SSPC/NACE joint surface preparation standards are provided in Section 3.3.

5.3 Use Table 1 to determine which photograph depicts the finished surface. For example, if the initial rust grade is "C" and commercial blast cleaning (SSPC-SP 6) is specified, use photograph C SP 6.

5.4 Compare the prepared surface with the photograph selected in Section 5.3 to evaluate the degree of cleaning.

5.5 This visual standard shall be used only in conjunction with the written SSPC/NACE joint surface preparation specifications, as it is based upon appearance only and does not address other factors necessary for compliance with the written specification. Steel surfaces show variations in texture, shade, color, tone, pitting, flaking, mill scale, etc., which should be considered when making a comparison with the reference photographs.

6. Disclaimer

While every precaution is taken to insure that all information furnished in SSPC guides and standards is as accurate, complete, and useful as possible, SSPC cannot assume any responsibility nor incur any obligation resulting from the use of any materials or methods specified therein, or of the guides or standards themselves.

7. Notes*

7.1 Although prepared from unpainted steel, the photographs may also be suitable for depicting the appearance of painted steel after blast cleaning.

7.2 The photographs of non-metallic abrasives in the Appendix illustrate the range of appearance produced by non-metallic abrasives as a class. Among the abrasives included in this class are silica sand, olivine sand, garnet, flint shot, copper slag, coal slag, and nickel slag. The abrasive used for each photograph is not specifically identified because wide variations in appearance were observed among the abrasives within a given generic class (e.g., copper slag).

A similar set of photographs illustrates the range of appearance produced by metallic abrasives as a class, which includes steel shot, steel grit, and combinations and modifications of these two abrasive media.

7.3 SSPC-VIS 1-89 is comprised of photographs prepared by SSPC to comply with the written SSPC abrasive blast cleaning standards. The previous VIS 1, prepared in conjunction with the Swedish Standards Institution (SIS), has been revised by the International Organization for Standardization (ISO) and is available from SIS or SSPC as ISO Standard 8501-1/SIS SS 05 59 00 (1988).

*Notes are not a requirement of this specification.

TABLE 1

Degree of Cleaning	A 100% Adherent Mill Scale	B Mill Scale and Rust	C 100% Rust	D 100% Rust With Pits
Brush-Off Blast Cleaning (SSPC-SP 7)	¹	B SP 7	C SP 7	D SP 7
Commercial Blast Cleaning (SSPC-SP 6)	²	B SP 6	C SP 6	D SP 6
Near-White Blast Cleaning (SSPC-SP 10)	A SP 10	B SP 10	C SP 10	D SP 10
White Metal Blast Cleaning (SSPC-SP 5)	A SP 5 ³	B SP 5	C SP 5	D SP 5

¹ Standard photograph not provided due to wide variations in appearance possible when brush-off blast cleaning adherent mill scale.

² No photograph available because this condition cannot normally be attained when removing adherent mill scale.

³ The photographs contained in the Appendix depict the appearance of surfaces blast cleaned with alternate abrasives (see Note 7.2).

- Alternate non-metallic abrasives: A SP 5-N1, A SP 5-N2, A SP 5-N3
- Alternate metallic abrasives: A SP 5-M1, A SP 5-M2, A SP 5-M3

SSPC: The Society for Protective Coatings

PAINT APPLICATION STANDARD NO. 2

Measurement of Dry Coating Thickness With Magnetic Gages

1. Scope

1.1 GENERAL: This standard describes the procedures to measure the thickness of a dry film of a nonmagnetic coating applied on a magnetic substrate using commercially available magnetic gages. These procedures are intended to supplement manufacturers' instructions for the manual operation of the gages and are not intended to replace them.

1.2 The procedures for calibration and measurement are described for two types of gages: pull-off gages (Type 1) and constant pressure probe gages (Type 2).

1.3 The standard defines a procedure to determine if the film thickness over an extended area conforms to the minimum and the maximum levels specified.

2. Description and Use

2.1 DEFINITIONS:

2.1.1 Gage Reading: A single reading at one point.

2.1.2 Spot Measurement: The average of at least three gage readings made within a 1.5 inch (4 cm) diameter circle.

2.2 DESCRIPTION OF GAGES:

2.2.1 Gage Types: The gage type is determined by the specific magnetic properties employed in measuring the thickness and is not determined by the mode of data read-out, i.e., digital or analog. This standard does not cover gages that measure the effect of eddy currents produced in the substrate.

2.2.2 Type 1—Pull-Off Gages: In pull-off gages, a permanent magnet is brought into direct contact with the coated surface and a calibrated scale measures the force necessary to pull the magnet from the surface. Less force is required to remove the magnet from a thick coating. The scale is nonlinear.

Type 1A - A magnet is attached to one end of a pivoting balance arm. This assembly is connected to a calibrated helical spring. By rotating a dial, the spring increases the force on the magnet and pulls it from the surface. The Type 1A gages are com-

monly called "banana" gages.

Type 1B - A magnet is mounted directly or indirectly to a coil spring. The spring acts perpendicularly to the surface to pull off the magnet. The Type 1B gages are commonly called "pencil" gages.

2.2.3 Type 2—Constant Pressure Probe Gages: A constant pressure probe gage uses a probe which exerts a constant a coil spring. The spring acts perpendicularly to the surface to pull off the magnet. The Type 1B gages are commonly called "pencil" gages.

2.2.3 Type 2—Constant Pressure Probe Gages: A constant pressure probe gage uses a probe which exerts a constant pressure on the coated surface during the entire measuring operation. Electronic circuitry is used to convert a reference signal into coating thickness. (See 8.1.)

2.3 USE OF STANDARD: This document contains the following:

Calibration, verification and measurement procedures (Section 4).

Required number of measurements for conformance to a thickness specification (Section 5).

Notes on gage principles and various factors affecting thickness measurement (Section 8).

A numerical example of thickness measurement over an extended area (Appendix 1).

A numerical example of verification of the calibration of Type 2 gages using plastic shims (Appendix 2).

3. Reference Standards

3.1 The documents and standards referenced in this standard are listed in Section 3.4 and form a part of this standard.

3.2 The latest issue, revision or amendment of the referenced documents in effect on the date of invitation to bid shall govern unless otherwise specified.

3.3 If there is a conflict between the requirements of any of the cited documents and this standard, the requirements of this standard shall prevail.

3.4 NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST) STANDARD REFERENCE MATERIALS. (See Section 8.15.)

4. Calibration, Verification and Measurement Procedures

4.1 GENERAL

4.1.1 Access to Bare Substrate: All gages are affected to some degree by substrate conditions such as roughness, shape, thickness and composition. To correct for this effect, access to the uncoated substrate is recommended. Another option is to use separate uncoated reference panels with similar roughness, shape, thickness and composition. (See Sections 8.3 to 8.9.) These would be used as the bare substrate in the procedures of Sections 4.2 and 4.3. Reference panels shall be of sufficient size to preclude edge effects. (See Section 8.7.)

Measurements on the bare substrate can be taken before areas during painting. If the coating has already been applied to the entire surface, small areas of coating may be removed and later patched. Do not allow the removal process to alter the condition of the substrate. Paint strippers should be used in order to retain the profile.

4.1.2 Spot Measurement: Repeated gage readings, even at points close together, may differ due to small surface irregularities of the coating and the substrate. Therefore, a minimum of three (3) gage readings shall be made for each spot measurement of either the substrate or the coating. For each new gage reading, move the probe to a new location within the 1.5 inch (4 cm) diameter circle defining the spot. Discard any unusually high or low gage reading that cannot be repeated consistently. Take the average of the acceptable gage readings as the spot measurement.

4.2 CALIBRATION, VERIFICATION AND MEASUREMENT: TYPE 1—PULL-OFF GAGES

4.2.1 For Type 1 gages, use test blocks bearing calibrated nonmagnetic coatings that are traceable to a suitable national standard. (See Section 8.15.) The standards must be large enough to exceed the critical mass of steel needed to satisfy the magnetic field of the Type 1 (pull-off) magnets. Shims of plastic or of non magnetic metals which are acceptable for calibration of Type 2 (constant pressure probe) gages should not be used for calibration of the Type 1 gages. (See Section 8.1.1.) If the manufacturer's instructions are in conflict with this standard by allowing the use of plastic or other nonmagnetic shims for the calibration of a Type 1 gage, the contracting parties must both be notified of this fact and agree on a method of calibration.

If proprietary thickness standards are to be used, agreement between contracting parties should be reached prior to starting the job.

4.2.2 Using the Type 1 (pull-off) gage, measure the thickness of a series of calibration standards covering the

expected range of coating thickness. To guard against measuring with an inaccurate gage, recheck the gage at the beginning and the end of each work shift with one or more of the standards. During the work shift, if the gage is dropped or suspected of giving erroneous readings, its calibration should be rechecked. If deemed appropriate by the contracting parties, initial agreement can be reached on the details and frequency of verification or calibration. Record the calibration data and the method used to verify the calibration. If the gage is found to be out of calibration at the end of the work shift, all measurements made since the last calibration are suspect.

4.2.3 When the gage no longer agrees with the standard, check the probe for cleanliness. If dirty, clean as described in Section 8.5.1. If the gage still does not agree with the standard, the gage is in need of repair or replacement. Some gages can be adjusted to read accurately in a given range. Adjust the gage to read correctly on a given standard. Then check the gage on nonlinear scales and any adjusting feature is linear in nature. Therefore, only a given segment of the scale can be accurate after adjustment.

4.2.4 Measure the bare substrate at a number of spots to obtain a representative average value. This average value is the base metal reading (BMR). Note the gage is not to be calibrated on the bare substrate.

4.2.5 Measure the dry coating at the number of spots specified in Section 5.

4.2.6 Subtract the base metal reading from the gage reading to obtain the thickness of the coating.

4.3 CALIBRATION, VERIFICATION AND MEASUREMENT: TYPE 2—CONSTANT PRESSURE PROBE GAGES

4.3.1 Different manufacturers of Type 2 (constant pressure probe) gages follow different methods of calibration or adjustment. Calibrate the gage according to manufacturer's instructions.

4.3.2 With a properly calibrated gage, measure the dry coating as specified. (See Section 4.1.2.)

4.3.3 Verify the calibration of the gage at the beginning and the end of each work shift with one or more of the standards. (See Appendix 2). During the work shift, if the gage is dropped or suspected of giving erroneous readings, its calibration should be rechecked. If deemed appropriate by the contracting parties, initial agreement can be reached on the details and frequency of verification or calibration. Record the calibration data and the method used to verify the calibration. If the gage is found to be out of calibration at the end of the work shift, all measurements made since the last calibration are suspect.

June 1, 1996

5. Required Number of Measurements for Conformance to a Thickness Specification

5.1 NUMBER OF MEASUREMENTS: Make five (5) separate spot measurements (average of the gage readings, see Section 4.1.2) spaced randomly over each 10 m² (100 ft²) area to be measured. If the contracting parties agree, more than five (5) spot measurements may be taken in a given area. (See Section 5.3.) The five spot measurements shall be made for each 10 m² (100 ft²) of area as follows:

5.1.1 For structures not exceeding 30 m² (300 ft²) in area, each 10 m² (100 ft²) area shall be measured.

5.1.2 For structures not exceeding 100 m² (1,000 ft²) in area, three 10 m² (100 ft²) areas shall be randomly selected and measured.

5.1.3 For structures exceeding 100 m² (1,000 ft²) in area, the first 100 m² (1,000 ft²) shall be measured as stated in Section 5.1.2 and for each additional 100 m² (1,000 ft²) of area or increment thereof, one 10 m² (100 ft²) area shall be randomly selected and measured.

5.1.4 If the dry film thickness for any 10 m² (100 ft²) area (see Sections 5.1.2 and 5.1.3) is not in compliance with the requirements of Sections 5.2.1 and 5.2.2, then additional measurements must be made to isolate the nonconforming area.

5.2 SPECIFYING THICKNESS: Both a maximum and a minimum thickness should be specified for the coating. If a maximum thickness value is not explicitly specified, the specified thickness shall be the minimum.

5.2.1 Minimum Thickness: The average of the spot measurements for each 10 m² (100 ft²) area shall not be less than the specified minimum thickness. No single spot measurement in any 10 m² (100 ft²) area shall be less than 80% of the specified minimum thickness. Any gage reading may under-run by a greater amount. If the average of the spot measurements for a given 10 m² (100 ft²) area meets or exceeds the specified minimum thickness, but one or more spot measurements is less than 80% of the specified minimum thickness, additional measurements may be made to define the nonconforming area. (See Appendix 1.)

5.2.2 Maximum Thickness: The average of the spot measurements for each 10 m² (100 ft²) area shall not be more than the specified maximum thickness. No single spot measurement in any 10 m² (100 ft²) area shall be more than 120% of the specified maximum thickness. Any gage reading may overrun by a greater amount. If the average of the spot measurements for a given 10 m² (100 ft²) area meets or falls below the specified maximum thickness, but

one or more spot measurements is more than 120% of the specified maximum thickness, additional measurements may be made to define the nonconforming area. Manufacturers' literature may be consulted to determine if higher maximum thickness readings are allowable under specific circumstances.

5.3 Other size areas or number of spot measurements may be specified in the procurement documents as appropriate for the size and shape of the structure to be measured.

6. Accuracy

6.1 To qualify under this standard, a gage must have an accuracy at least within $\pm 10\%$. For thicknesses less than 25 μm (1 mil), the gage must have an accuracy at least within $\pm 2.5 \mu\text{m}$ (0.1 mil).

7. Disclaimer

7.1 While every precaution is taken to insure that all information furnished in SSPC standards and specifications is as accurate, complete and useful as possible, SSPC cannot assume responsibility nor incur any obligation resulting from the use of any materials, coatings or methods specified therein, or of the specification or standard itself.

8. Notes

Notes are not a requirement of this standard.

8.1 PRINCIPLES OF THE MAGNETIC GAGE: Each of these gages can sense and indicate only the distance between the magnetic surface of the steel and the small rounded tip of the magnet or probe that rests on the top surface of the coating. This measured distance, from the top surface of the coating, must be corrected for the thickness of any extraneous films or other interfering conditions on the surface of the steel. Such correction is described in Section 4.2 for Type 1 gages and manufacturer's instructions for Type 2 gages.

8.1.1 Type 1 (pull-off) gages use a calibrated spring mechanism to measure the force needed to pull a small permanent magnet from the surface of the coated steel. The magnetic force holding the magnet to the surface varies inversely as a nonlinear function of the distance between magnet and steel, i.e., the thickness of the dry coating (plus any other films present).

The Type 1A "banana" gages use a helical spring to pull a small permanent magnet from the surface. Internal balancing mechanisms in most banana gages compensate for horizontal, vertical and overhead positions so that there is no need to recalibrate when changing orientation.

In a Type 1B "pencil" gage, a calibrated coil spring measures the force necessary to pull the permanent magnet

from the surface. Because of gravitational effects, these gages must be recalibrated when the orientation of the surface changes; e.g., a gage calibrated on a horizontal surface will not be accurate when measuring a vertical surface. Some gages have three separate indicators which compensate for horizontal, vertical and overhead positions. Type 1B gages are generally not as precise as Type 1A gages. Normally, Type 1 gages are not adjusted or reset for each new series of measurements.

Shims of sheet plastic or of nonmagnetic metals, which are permissible for calibrating Type 2, (constant pressure probe) gages, should not be used for calibration of Type 1 gages. Such shims are usually fairly rigid and curved and do not lie perfectly flat, even on a smooth steel test surface. Near the pull-off point of the calibration measurements with any Type 1 gage, the shim frequently springs back from the steel surface, raising the magnet too soon and causing erroneous calibration readings.

8.1.2 Type 2 (constant pressure probe) gages operate on two different magnetic principles. Some Type 2 gages use a permanent magnet. When the magnet is brought near steel, the magnetic flux density within the magnet is increased. By measuring this change in flux density, which varies inversely to the distance between the magnet and the steel substrate, the coating thickness can be determined. Hall elements and magnet resistance elements are the most common ways to measure magnetic flux density. However, the response of these elements is temperature dependent, so temperature compensation is required.

Other Type 2 gages operate on the principle of electromagnetic AC current thereby producing a changing magnetic field at the probe. As with a permanent magnet, the magnetic flux density within the rod increases when the probe is brought near the steel substrate. This change is easy to detect by using a second coil. The output of the second coil is related to coating thickness and this relationship can be determined experimentally.

8.2 REPEATABILITY: Magnetic gages are necessarily sensitive to very small irregularities of the coating surface or of the steel surface directly below the probe center. Repeated gage readings on a rough surface, even at points very close together, frequently differ considerably, particularly for thin films over a rough surface with a high profile.

8.3 ZERO SETTING: Type 1 magnetic gages should not be adjusted or set at the scale zero (0) with the gage applied to either a rough or a smooth uncoated steel surface.

8.4 ROUGHNESS OF THE STEEL SURFACE: If the steel surface is smooth and even, its surface plane is the effective magnetic surface. If the steel is roughened, as by blast cleaning, the "apparent" or effective magnetic surface

that the gage senses is an imaginary plane located between the peaks and valleys of the surface profile. With a correctly calibrated and adjusted Type 2 gage, the reading obtained indicates the coating thickness above this imaginary plane. (See Section 4.3.) If a Type 1 gage is used, the coating thickness is obtained by subtracting the base metal reading. (See Section 4.2.)

8.5 DIRTY, TACKY OR SOFT FILMS: The surface of the coating and the probe of the gage must be free from dust, grease and other foreign matter in order to obtain close contact of the probe with the coating and also to avoid adhesion of the magnet. The accuracy of the measurement will be affected if the coating is tacky or excessively soft. Tacky coating films also cause unwanted adhesion of the magnet. Unusually soft films may be dented by the pressure of the probe. Soft or tacky films can sometimes be measured satisfactorily by putting a shim on the film, measuring total thickness of coating plus shim and subtracting shim thickness.

8.5.1 Ordinary dirt and grease can be removed from a probe by wiping with a soft cloth. Magnetic particles adhering to the probe can be removed using an adhesive backed tape. Any adhesive residue left on the probe must then be removed.

8.6 ALLOY STEEL SUBSTRATES: Differences among most mild low-carbon steels will not significantly effect magnetic gage readings. For higher alloy steels, the gage response should be checked. In any event, the gage should be recalibrated on the same steel over which the coating has been applied.

8.7 PROXIMITY TO EDGES: Magnetic gages are sensitive to geometrical discontinuities of the steel, such as holes, corners or edges. The sensitivity to edge effects and discontinuities varies from gage to gage. Measurements closer than 2.5 cm (1 in) from the discontinuity may not be valid unless the gage is calibrated specifically for that location.

8.8 PROXIMITY TO OTHER MASS OF STEEL: The older two-pole Type 2 gages with permanent magnets are sensitive to the presence of another mass of steel close to the body of the gage. This effect may extend as much as three inches (7.6 cm) from an inside angle.

8.9 CURVATURE OF STEEL SURFACE: Magnetic gage readings may be affected by surface curvature. If the curvature is appreciable, valid measurements may still be obtained by calibrating or adjusting the gage on a similarly curved surface.

8.10 TILT OF PROBE: All of the magnets or probes must be held perpendicular to the coated surface to produce valid measurements.

8.11 OTHER MAGNETIC FIELDS: Strong magnetic fields, such as those from welding equipment or nearby power lines, may interfere with operation of the gages. Also, residual magnetism in the steel substrate may affect gage readings. With fixed probe two-pole gages in such cases, it is recommended that the readings before and after reversing the pole positions be averaged. Other gages may require demagnetization of the steel.

8.12 EXTREMES OF TEMPERATURE: Most of the magnetic gages operate satisfactorily at 4°C and 49 °C (40 °F and 120 °F). Some gages function well at much higher temperatures. However, if such temperature extremes are met in the field, the gage might well be checked with at least one reference standard after both the standard and the gage are brought to the same ambient temperature. Most electronic gages compensate for temperature differences among the gage, probe and surface.

8.13 VIBRATION: The accuracy of the Type 1 (pull-off) gages is affected by traffic, machinery, concussions, etc. When these gages are set up for calibration or measurement of coating films, there should be no apparent vibration.

8.14 VARIATION IN THICKNESS - 80% OF MINIMUM/120% OF MAXIMUM: In any measurement there is a certain level of uncertainty. Two inspectors using the same gage will not necessarily record the exact same number for a given spot measurement using the same 4 cm (1.5 in) diameter circle. To allow for this natural fluctuation, an individual spot measurement is permitted to be below the specified minimum thickness as long as other spots in the 10 m² (100 ft²) area are high enough to make the average thickness meet or exceed the specified minimum thickness. Similar reasoning applies to maximum thickness. The 80% of specified minimum and 120% of specified maximum allow for the tolerance of the gage and calibration standards and for variations in the substrate.

8.15 Polished metal calibration standards are manufactured by the National Institute of Standards and Technology (NIST). The chrome plated panels are flat smooth steel 2.86 x 2.86 cm (1.125 x 1.125 in) in size. Examples of some NIST standards are:

Certified Coating Thickness Calibration Standards
Nonmagnetic Coating on Steel

SRM 1358	Set of 3	80, 225, 1000 μm (3, 9, 40 mil)
SRM 1359	Set of 4	48, 140, 505, 800 μm (2, 5.5, 20, 31 mil)
SRM 1362a	Set of 4	40, 80, 140, 205 μm (1.6, 3, 5.5, 8 mil)
SRM 1331a to 1339a	Single standards from	3 μm (0.1 mil) to 62 μm (2.4 mil)

8.16 CORRECTING LOW OR HIGH THICKNESS: The

contracting parties should agree upon the method of correcting film thicknesses that are above the maximum or below the minimum specification. This method may be specified in the procurement documents, may follow manufacturer's instructions or may be a compromise reached after the nonconforming area is discovered.

APPENDIX 1—Numerical Example of Average Thickness Measurement

The following numerical example is presented as an illustration of Section 5. (Reference JPCL, Vol 4, No 5, May 1987). Suppose this structure is 30 m² (300 ft²) in area. Mentally divide the surface into three equal parts, each being about 10 m² (100 ft²).

Part A - 10 m² (100 ft²)
Part B - 10 m² (100 ft²)
Part C - 10 m² (100 ft²)

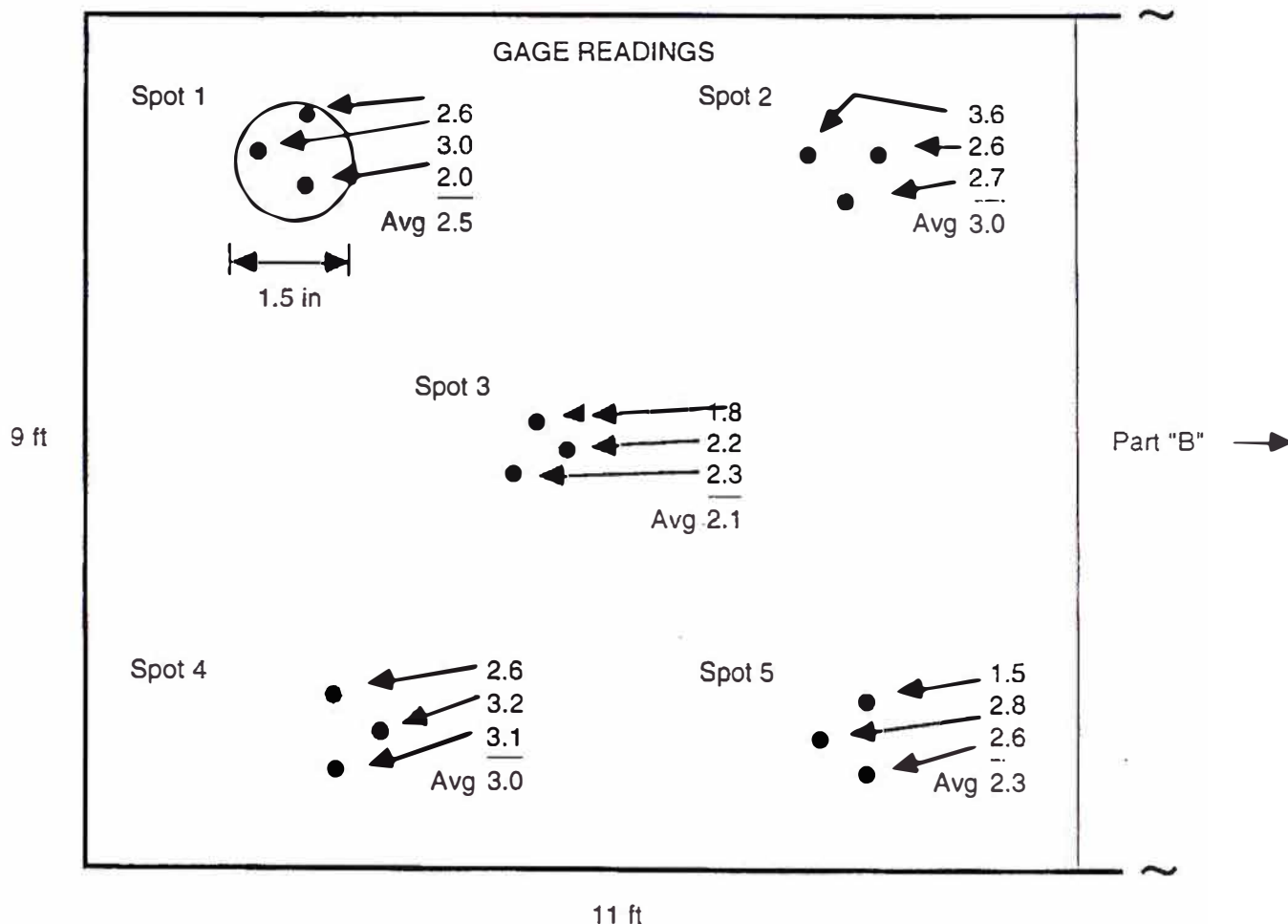
First, measure the coating thickness on Part A. This involves at least 15 readings of the thickness gage. (See Figure A1.) Assume the specification calls for 64 μm (2.5 mils) minimum thickness. The average thickness for area A is then the average of the five spot measurements made on area A, namely 66 μm (2.6 mils).

Spot 1	64 μm	2.5 mils
Spot 2	76	3.0
Spot 3	53	2.1
Spot 4	76	3.0
Spot 5	<u>58</u>	<u>2.3</u>
Avg.	66 μm	2.6 mils

The average, 66 μm, exceeds the specified minimum of 64 μm and thus satisfies the specification. However it must be decided if the lowest spot measurement, 53 μm, is within 80% of the specified minimum thickness. Eighty percent of 64 μm is 51 μm (0.80 x 64 = 51). Although 53 μm is below the specified minimum, it is still within 80 percent of it, so the specification is satisfied. [The average, 2.6 mils, exceeds the specified minimum of 2.5 mils and thus satisfies the specification. However it must be decided if the lowest spot measurement, 2.1 mils, is within 80% of the specified minimum thickness. Eighty percent of 2.5 mils is 2.0 mils (0.80 x 2.5 = 2.0). Although 2.1 mils is below the specified minimum, it is still within 80 percent of it, so the specification is satisfied.]

There are individual gage readings of 38 μm at spot 5 and 46 μm at spot 3, both of which are clearly less than 51 μm. This is allowed because only the average of the three readings (i.e., the spot measurement) must be greater than or equal to 51 μm. [There are individual gage readings of 1.5 mils at spot 5 and 1.8 mils at spot 3, both of which are clearly less than 2.0 mils. This is allowed because only the average of the three readings (i.e., the spot measurement) must be greater than or equal to 2.0 mils.]

FIGURE A1
Part "A" of Structure (Area Approx. 10 m² [100 ft²])



Since the structure used in this example is about 30 m² (300 ft²), the procedure used to measure the film thickness of part A must be applied to both part B and part C. The measured thickness of part B must exceed the 64 μm (2.5 mils) specified minimum as must the thickness of part C.

To monitor the thickness of this entire 30 m² (300 ft²) structure, at least 45 individual gage readings must be taken, from which 15 spot measurements are calculated. The five spot measurements from each 10 m² (100 ft²) part of the structure are used to calculate the thickness of that part.

Appendix 2—Example of Verification of the Calibration of Type 2 Gages Using Plastic Shims

This example describes a method to check if a Type 2 gage is properly calibrated.

Suppose the coating thickness is specified at 100 μm (4.0 mils). The Type 2 constant pressure probe gage being used has been calibrated according to the manufacturer's

recommendation. Now its calibration over blast clean steel must be verified. A test coupon which had been blast cleaned during the time the structure was blasted and had a profile representative of that under the coating is available. After selecting a 50 μm (2.0 mil) and a 250 μm (10 mil) plastic shim, proceed to take thickness readings of 10 shims lying on the bare blasted surface.

Because of the randomized nature of a blast clean surface, repeated readings may exhibit significant variation. Thus, make at least 10 measurements on each shim and record their averages. There is no need to keep track of each individual reading. Many gages will compute the average for you.

The thickness of a plastic shim is typically accurate within ±5%. After calibration according to manufacturer instructions, the gage is probably accurate to within ±5% also. Therefore, for the gage to be in agreement with the shim, the average thickness measured by the gage should be within ±10% of the shim's thickness. If the average thickness measured on the 51 μm (2.0 mil) shim is 56 μm (2.2 mils), the gage is in agreement with the shim because 56 is within ±10% of 51 (2.2 is within 10% of 2.0).

SSPC-PA 2
June 1, 1996

Similarly, if the average thickness of the 254 μm (10.0 mil) shim is measured to be 279 μm (11.0 mils), the gage calibration is verified because 279 is within $\pm 10\%$ of 254 (11.0 is within $\pm 10\%$ of 10.0).

In summary, if the average measurement of the 51 μm (2 mil) shim is between 46 and 56 μm (1.8 and 2.2 mils), and if the average measurement of the 254 μm (10.0 mil) shim is between 229 and 279 μm (9.0 and 11.0 mils), the calibration is verified.

Check that another shim of intermediate thickness, for example 127 μm (5.0 mils), is also within $\pm 10\%$. If the calibration is verified on both the high and the low shims, is almost always verified on the intermediate value shim.

NOTE: With some gages it may be more practical to adjust the gage at the intermediate thickness (e.g., 127 μm shim) first and then verify that the gage also reads the high and the low shims correctly.