

5. PREPARACIÓN DE SUPERFICIES PARA LA ADHESIÓN DE BANDAS EXTENSOMÉTRICAS

5.1. Introducción

Las bandas extensométricas pueden ser satisfactoriamente adheridas a casi cualquier material sólido si se prepara el material *adecuadamente*. Mientras una superficie preparada adecuadamente se puede conseguir de más de una forma, los procedimientos específicos y las técnicas descritas aquí ofrecen un gran número de ventajas. Para empezar, estas constituyen un sistema desarrollado cuidadosamente y suficientemente probado; y, cuando se siguen las instrucciones de forma precisa (junto con aquellas sobre el manejo de la banda y del adhesivo), el resultado obtenido será uniones altamente estables. Los procedimientos son simples de aprender, fáciles de desarrollar, y fácilmente reproducibles.

Además, los materiales de preparación de la superficie usados en estos procedimientos son, a menos que se indique lo contrario, generalmente bajos en toxicidad, y no requieren sistemas de ventilación especiales u otras medidas de seguridad estrictas. Por supuesto, con materiales que contengan disolventes o que produzcan vapores, es necesaria una ventilación adecuada.

La importancia de la atención a detallar, y la adherencia precisa a las instrucciones, no puede ser sobretensionada durante la preparación de la superficie para la adhesión de bandas extensométricas. Un poco menos o incluso casualmente, las aproximaciones a la preparación de la superficie pueden a veces producir instalaciones de banda satisfactorias; pero para el éxito *constante* en la consecución de adhesiones de alta calidad, los métodos dados aquí se pueden recomendar sin cualificación. Es fundamental para el sistema de preparación de superficies de un entendimiento de *limpieza y contaminación*. Todas las superficies libres que no estén recién limpias se deben considerar contaminadas, y requieren una limpieza inmediatamente anterior a la adhesión de la banda. De forma similar, es imprescindible que los materiales usados en la preparación de la superficie estén recién limpios y descontaminados. Merece la pena destacar que las bandas extensométricas están limpias químicamente, y se tratan de forma especial en la cara inferior para promover la adhesión. Simplemente al tocar las bandas con los dedos (que están siempre contaminados) puede ser perjudicial para la calidad en la adhesión.

El sistema de preparación de superficies incluye cinco operaciones básicas. Estas son, en el orden normal de ejecución:

- *desengrase del disolvente*
- *raspadura*
- *aplicación de las líneas de disposición de la banda*
- *acondicionamiento*
- *neutralización*

Estas cinco operaciones son variadas y modificadas por contabilidad con diferentes propiedades del material a ensayar, y se introducen excepciones como apropiadas para ciertos materiales y situaciones especiales.

Las operaciones de preparación de superficies se describen individualmente en la **sección 5.2.**, siguiendo un esquema de los principios generales aplicables al proceso completo. La **sección 5.3.** expone precauciones y consideraciones especiales que se deberían tener en cuenta al trabajar con materiales inusuales y/o condiciones de la superficie.

Como algo conveniente para el instalador de la banda en la determinación de los pasos de preparación de las superficies específicas aplicables a cualquier material a ensayar particular, la **sección 5.4.** incluye una tabla con un listado de aproximadamente 75 materiales comunes (y no comunes) y los correspondientes tratamientos de preparación de la superficie.

5.2. Operaciones y Técnicas Básicas de Preparación de Superficies

5.2.1. Principios Generales de Preparación de Superficies para Adhesión de Bandas

Extensométricas

El propósito de la preparación de superficies es desarrollar una superficie limpia químicamente que tenga una rugosidad apropiada a los requerimientos de instalación de la banda, una superficie alcalina correspondiente a un pH de 7 o así, y líneas de disposición de banda visibles para localizar y orientar la banda extensométrica. Las operaciones descritas aquí se dirigen hacia este propósito.

Como se destacó anteriormente, la limpieza es vital en el proceso de preparación de la superficie. Además, es importante protegerse de la recontaminación de una superficie que ha sido limpiada una vez. Síganse estos ejemplos de recontaminación de la superficie para ser evitados:

- a. Tocar la superficie limpia con los dedos.
- b. Limpiar desde atrás hacia delante con una esponja de gasa, o usando de nuevo una superficie usada de la esponja (o un trozo de algodón).
- c. Arrastrar los contaminantes al área limpia desde el contorno no limpio de esa área.
- d. Permitir una solución de limpieza que se evapore sobre la superficie.

- e. Permitir una superficie limpia que pasen más de unos pocos minutos antes de proceder a la instalación de la banda, o permitir una superficie preparada parcialmente durante los pasos del procedimiento de limpieza.

Más allá de lo anterior, es una buena práctica aproximarse a la tarea de preparación de la superficie con las manos recién limpiadas, y limpiarse estas cuando sea necesario durante el proceso.

5.2.2. Desengrase del Disolvente

El desengrase se practica para eliminar aceites, grasa, contaminantes orgánicos, y residuos químicos solubles. El desengrase debería siempre ser la primera operación. Esto se hace para evitar tener operaciones de raspadura que producirían contaminantes superficiales en el material de la superficie. Los materiales porosos tales como el titanio, el hierro colado, y el aluminio colado pueden requerir un calentamiento para ahuyentar hidrocarburos absorbidos u otros líquidos.

El desengrase puede ser realizado usando un desengrasante de vapor caliente, un baño de líquido agitado ultrasónicamente, spray tipo aerosol CSM-1 Desengrasante, o limpiando con Alcohol Isopropil GC-6. Los aplicadores de dirección única, tales como el tipo aerosol, de disolventes limpiadores son siempre preferibles porque los contaminantes disueltos no pueden ser arrastrados al disolvente siguiente. Cuando sea posible, la pieza total a ensayar debería ser desengrasada. En el caso de objetos muy voluminosos que no pueden ser completamente desengrasados, se debería limpiar un área que cubra de 100 a 150 mm de todos los lados del área de la banda. Esto minimizará la posibilidad de recontaminación en operaciones subsecuentes, y proveerá un área adecuadamente grande para la aplicación de revestimientos protectores en la fase final de instalación de la banda.

5.2.3. Raspado de la Superficie General

Durante la preparación de la instalación de la banda la superficie es raspada para eliminar cualquier adherencia libremente unida (escamas, herrumbre, pintura, revestimientos galvanizados, óxidos, etc.), y para desarrollar una textura superficial adecuada para la adhesión. La operación de raspado puede ser realizada de una gran variedad de formas, dependiendo de la condición inicial de la superficie y del acabado deseado para la instalación de la banda. Para superficies rugosas o bastas, puede ser necesario comenzar con una trituradora, disco lijador, o filo. (*Nota: Antes de realizar cualquiera de las operaciones de raspado, véase la sección 5.3.1 para tomar precauciones de seguridad*). El terminado del raspado se hace con un papel de sílica-carburo de la granulometría apropiada, y las dimensiones de granulometría recomendada para materiales especiales se dan en la **sección 5.4**.

Si se usa una ráfaga de gravilla en lugar de raspado, es satisfactoria tanto la alúmina como la sílice (granulometría de 100 a 400). En cualquier caso, el suministro de aire se debería filtrar bien para eliminar aceite u otros vapores contaminantes de procedan del compresor de aire. La gravilla usada en la ráfaga debería ser reciclada o usada de nuevo en la preparación de la superficie para la adhesión de bandas extensométricas.

El acabado superficial óptimo para la adhesión de la banda depende de algún modo de la naturaleza y el propósito de la instalación. Para aplicaciones de análisis generales de tensión, es adecuada una superficie relativamente lisa (del orden de 2,5 μm , rms), y tiene la ventaja sobre las superficies más rugosas que se puede limpiar más fácilmente. Las superficies más lisas, compatibles con delgadas “líneas del pegamento” requeridas para un mínimo deslizamiento, se usan para instalaciones de transductores. En contraste, cuando se deben medir elongaciones muy altas, se debería preparar una superficie más rugosa (y preferiblemente entramada transversalmente). Los acabados de superficie recomendados para varias clases de instalaciones de banda se resumen en la Tabla I.

TABLA I

CLASE DE INSTALACIÓN	ACABADO SUPERFICIAL μm, rms
Análisis general de tensión	1,6 – 3,2
Alta elongación	>6,4 entramado-transversal
Transductores	0,4 – 1,6
Cemento cerámico	>6,4

Cuando el Acondicionador A M-Prep es compatible con el material a ensayar (véase la *sección 5.4.*), el raspado se debería hacer mientras se mantenga la superficie húmeda con esta solución, si es practicable físicamente. El acondicionador A es una solución ácida que generalmente acelera el proceso de limpieza y, en algunos materiales, actúa como un aguafuerte suave. No se recomienda para uso con magnesio, goma sintética, o madera.

5.2.4. Líneas de Disposición de Localización de la Banda

El método normal de localización precisa y orientación de una banda extensométrica en la superficie a ensayar es primero señalar la superficie con un par de líneas de referencia transversalmente en el punto donde se va a realizar la medida de deformación. Las líneas se hacen una perpendicularmente a otra, con una línea orientada en la dirección de la medida de

deformación. La banda es entonces instalada de forma que las marcas del índice triangular que define los ejes longitudinal y transversal de la rejilla estén alineados con las líneas de referencia de la superficie a ensayar.

Las líneas de referencia o de disposición deberían realizarse con una herramienta que *pula*, en vez de cortar o escribir, la superficie. Una línea escrita puede aumentar el sonido aumentar un sonido o crear una concentración de tensión. En tal caso, dicha línea puede ser perjudicial para el rendimiento de la banda extensométrica y para la vida a fatiga del elemento a ensayar. Para el aluminio y para la mayoría de aleaciones no férricas, un lápiz de dibujo 4H es una herramienta de pulido satisfactoria y conveniente. Sin embargo, los lápices de grafito nunca deberían ser usados con aleaciones a alta temperatura donde la temperatura de operación podría causar un problema de fragilidad del carbono. En estas y otras aleaciones duras, las marcas de alineación de pulido se pueden realizar con bolígrafo o una barra de latón de punta redonda. Las líneas de disposición se aplican generalmente tras la operación de raspado y antes de la limpieza final. Todos los residuos de la operación de pulido se deberían eliminar restregando con el Acondicionador A según se describe en la siguiente sección.

5.2.5. Acondicionamiento de la Superficie

Después de que las líneas de disposición han sido señaladas, al Acondicionador A debería ser aplicado repetidamente, y la superficie restregada con aplicadores con punta metálica revestida de algodón hasta que una punta de limpieza no se decolora por el restregado. Durante este proceso la superficie se debería mantener constantemente húmeda con el Acondicionador A hasta que se complete la limpieza. *Nunca se debería permitir que las soluciones de limpieza humedezcan la superficie.* Cuando esté limpia, la superficie debería secarse pasando a través del área que ha sido limpiada con una *única* pincelada lenta de una esponja de gasa. La pincelada debería comenzar en el área que ha sido limpiada para evitar arrastrar contaminantes procedentes del contorno del área. Entonces, con una nueva esponja, se realiza una *única* pincelada en la dirección opuesta. La esponja nunca debería ser restregada de acá para allá, ya que esta puede depositar los contaminantes en la superficie que ha sido limpiada.

5.2.6. Neutralización

El paso final en la preparación de la superficie es ajustar la condición de la superficie a una alcalinidad óptima de un pH de 7,0 a 7,5, que es el adecuado para todos los sistemas adhesivos de bandas extensométricas. Esto se debería hacer aplicando libremente el Neutralizador M-Prep 5A a la superficie limpia, y restregando la superficie con un aplicador de punta metálica envuelta en algodón. La superficie limpia se debería mantener completamente húmeda con el Neutralizador 5A

a través de esta operación. Cuando se ha neutralizado, la superficie debería secarse pasando a través del área limpia con una *única* pincelada lenta de la esponja de gasa limpia. Con una nueva esponja, se debería hacer una nueva pincelada en la dirección opuesta, empezando con el área limpia para evitar la recontaminación del contorno sin limpiar.

Si las instrucciones anteriores se siguen con precisión, la superficie estará adecuadamente preparada para la adhesión de la banda, y la banda o las bandas se deberían instalar tan pronto como sea posible.

5.3. Precauciones y consideraciones especiales

5.3.1. Precauciones de seguridad

Como cualquier actividad técnica, la seguridad debería siempre ser una consideración fundamental en la preparación de la superficie para la adhesión de las bandas extensométricas. Por ejemplo, al moler, lijar, o afilar, el operario debería llevar puestas gafas de seguridad y tomar otras precauciones de seguridad según se especifique en su organización o por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA).

En el manejo de materiales tóxicos tales como el berilio, plomo, uranio, plutonio, etc., todos los procedimientos y medidas de seguridad deberían ser aprobadas por el encargado de seguridad del establecimiento antes de comenzar la preparación de la superficie.

5.3.2. Tratamiento Especial de Requerimiento de las Superficies

Hormigón

Las superficies de hormigón son normalmente irregulares, rugosas, y porosas. Para desarrollar un sustrato adecuado para la adhesión de las bandas, es necesario aplicar un prerrevestimiento plano y precintado de adhesivo epoxi al hormigón. Antes de aplicar el prerrevestimiento, la superficie de hormigón debe prepararse mediante un procedimiento que tiene en cuenta la porosidad de este material.

Se debería eliminar la contaminación de aceites, grasas, crecimiento de plantas, y otras manchas restregando vigorosamente con un cepillo de cerdas rígidas y una solución detergente suave. La superficie es entonces aclarada con agua limpia. Las irregularidades de la superficie pueden ser eliminadas mediante un cepillo de cables, disco lijador, o una ráfaga de gravilla, tras lo cual todas las partículas sueltas deberían ser sopladas o cepilladas de la superficie.

El siguiente paso es aplicar el Acondicionador A M-Prep generosamente a la superficie y alrededor del área de las bandas, y restregar al área con un cepillo de cerdas rígidas. El Acondicionador A contaminado debería ser secado con esponjas de gasa, y entonces la superficie debería ser aclarada con agua limpia. Siguiendo al aclarado con agua, la acidez de la superficie se debería reducir restregando con el Neutralizador M-Prep 5A, secando con esponjas de gasa, y aclarando con agua. Es útil un aclarado final con agua destilada para eliminar las partículas residuales de las soluciones de limpieza solubles en agua. Antes del prerrevestimiento, la superficie limpia debe ser secada. Calentando la superficie con cuidado con una mecha de propano o un soplete eléctrico acelerará la evaporación.

M-Bond AE-10 de Micro-Measurements a la temperatura ambiente curando al adhesivo epoxi es un material ideal para prerrevestir al hormigón. Para aquellos casos en que la temperatura a ensayar puede exceder de la temperatura de operación máxima especificada del AE-10 (95° C), será necesario rellenar la superficie con un sistema de temperatura más alta tal como el M-Bond GA-16.

Al aplicar el revestimiento al material poroso, el adhesivo debería trabajar al vacío, y allanar para formar una superficie lisa. Cuando el adhesivo esté completamente curado, se debería raspar hasta que el material base empiece a exponerse de nuevo. Siguiendo esto, la superficie de epoxi es limpiada y preparada convencionalmente, de acuerdo al procedimiento especificado en la **sección 5.4** para adhesión de bandas a epoxi.

Superficies laminadas

En general, las superficies laminadas son perjudiciales para la estabilidad de las bandas extensométricas, y es preferible eliminar el laminado en la localización de la banda, si esta lo

permite. Los laminados de cadmio y níquel están particularmente sometidos a fluencia, e incluso laminados más duros puede sufrir fluencia a causa de la unión imperfecta entre el laminado y el metal base. Cuando no se permite eliminar el laminado, la superficie debería estar preparada de acuerdo al procedimiento dado en la **sección 5.4.** para el laminado específico dado. Note que puede ser necesario ajustar los procedimientos de ensayo para minimizar los efectos de fluencia.

Uso de Disolventes en Plásticos

Los plásticos varían ampliamente en su reactividad a los disolventes tales como aquellos usados en los procedimientos de preparación de superficies descritos aquí. Antes de aplicar un disolvente a cualquier plástico, la **sección 5.4.**, que incluye a la mayoría de plásticos comunes, debería ser consultada para ver el disolvente compatible recomendado. Para plásticos que no aparezcan en la **sección 5.4.**, se debería consultar al fabricante del material, o se deberían desarrollar ensayos para verificar la no-reactividad entre el disolvente y el plástico.

Cambios Dimensionales o Mecánicos Debidos a la Preparación de las Superficies

Generalmente, los procedimientos de preparación de superficies descritos en no producirán cambios dimensionales medibles o de ninguna forma alterarán la condición mecánica o el estado de tensión en el elemento a ensayar. Incluso en el caso de la eliminación finita de material, el efecto en las propiedades mecánicas estáticas del elemento a ensayar es normalmente despreciable frente a otras fuentes de error del experimento. Se debería recordar, sin embargo, que la eliminación de una capa de la superficie laminada o endurecida, o de una capa superficial con tensiones residuales significativas, puede afectar notablemente a la vida a fatiga o a las características de desgaste del elemento cuando opere bajo condiciones dinámicas de servicio.

Contaminación de la Silicona

Las propiedades de las siliconas que las hacen ser excelentes lubricantes y agentes para soltar el molde además hacen que sean enemigas de la adhesión, y por tanto las más serias candidatas de ser encontradas como contaminantes en la práctica de la adhesión de las bandas extensométricas. El problema se agrava debido a la alta afinidad natural de las siliconas para la mayoría de los materiales, y por su tendencia a migrar. Además, ya que las siliconas son relativamente químicamente inertes, y que no ven afectadas por la mayoría de disolventes, están entre los contaminantes superficiales más difíciles de eliminar.

La mejor práctica es mantener el área de adhesión de la banda libre de siliconas. Esto puede no ser tan fácil como suena, ya que las siliconas usadas más extensamente pueden ser introducidas de una gran variedad de fuentes. Por ejemplo, muchas cremas de manos y cosméticos contienen siliconas, y estas no deberían ser usadas por las personas que van a realizar la instalación. Algunos lubricantes de máquinas contienen siliconas también, y tales lubricantes deberían evitarse cuando

los elementos de máquinas que sean se van a instalar a las bandas extensométricas. De forma similar, los tejidos de limpieza de silicona saturada para limpiar gafas no se deberían usar en el área de adhesión de la banda o por el personal de instalación de la banda.

Sin tener en cuenta los esfuerzos para evitar las siliconas, la contaminación puede ocurrir todavía. La contaminación luminosa puede a veces ser eliminada limpiando con el Acondicionador A, preferiblemente caliente a 95° C. Varios casos más pueden requerir soluciones y procedimientos de limpieza especial, recomendaciones las cuales se deberían obtener del fabricante del compuesto de silicona que produce contaminación.

5.4. Índice de Materiales de Ensayo y Procedimientos de Preparación de Superficies

En esta sección, los procedimientos específicos de preparación de superficie paso a paso se dan para aproximadamente 75 materiales diferentes. Para conseguir un acceso conciso, conveniente y rápido al procedimiento para cualquier material particular, la información es presentada en la Tabla II. Los materiales a ensayar se listan alfabéticamente, desde los Plásticos ABS al Circonio; y el procedimiento completo para cada material se define por uno o más dígitos en cada columna de operaciones aplicables de la tabla. Cada dígito identifica la operación requerida y especifica el número de paso para esa operación en el procedimiento completo.

Por ejemplo, supóngase que las necesidades de adhesión de una o más bandas extensométricas a un espécimen a ensayar de latón. Leyendo bajo la columna de *Material del Especimen* de la Tabla II para el latón, y siguiendo esa fila longitudinalmente hacia la derecha de la tabla, el primer paso en la preparación de la superficie consiste en desengrasar el espécimen con el Desengrasante CSM-1. El símbolo (1) en la columna de Alcohol Isopropil indica que esta es una operación de desengrase sustituta adecuada. Continuando longitudinalmente por la fila, la segunda operación indica que se debe raspar la superficie del espécimen con papel de silicona-carburo de 320 de granulometría. En la tercera operación el espécimen es raspado de nuevo con papel de silicona-carburo de granulometría 400, estando embebido en el Acondicionador A si es factible. Las operaciones cuarta y quinta consisten en aplicar las líneas de disposición para localizar las bandas, y restregar la superficie limpia con el Acondicionador A. La operación final del procedimiento es la limpieza con alcohol isopropil.

En la columna de *Observaciones*, se recomienda que sean instaladas las bandas 20 minutos después de completar la preparación de la superficie, porque la superficie de latón recién descubierta tiende a oxidarse rápidamente. Además, en la columna *Ráfaga de Gravilla*, se avisa específicamente al instalador de las bandas a no sustituir la ráfaga de gravilla por otros métodos de raspado, para evitar la alteración significativa de la condición superficial de este material relativamente blando. Los procedimientos de preparación de superficies para otros materiales se

definen de forma similar en la tabla, y, en muchos casos, acompañados de avisos especiales o recomendaciones en la columna de *Observaciones*. Cuando se requiere una operación no incluida en los primeros diez titulares de las columnas, se indexa en la columna *Otro*, con una fila apuntando a la columna *Observaciones* donde se especifica la operación.