

INTRODUCCION

La metalografía es el estudio microscópico de la estructura de los materiales. Tradicionalmente se ha hablado de metalografía, pero el avance de los nuevos materiales ha añadido materiales no metálicos (como es la fibra de carbono, cerámica o vidrio) al grupo de materiales que se estudian estructuralmente. En el presente documento pretendemos dar unas claves y ayudas en la preparación de las probetas de distintos materiales con el fin de disponer de la muestra en las condiciones adecuadas para su correcto estudio a través del microscopio.

RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA PREPARACION MATERIALOGRAFICA DE CUALQUIER MATERIAL

CORTE

El corte no debe ser ni muy lento ni muy rápido. En ningún caso se debe cambiar la estructura cristalina del material (lo que comúnmente se llaman “quemados”). Es mejor tomarse algo de tiempo en el corte y de esa forma poder ahorrar tiempo de preparación en el lijado y pulido.

Existen discos de corte específicos para cortar cada tipo de material. Si se utiliza el adecuado, se consigue mejorar la calidad de la superficie cortada y una mayor duración del disco de corte. En general, un disco de corte duro (poco flexible) es el adecuado para cortar material blando y por el contrario un disco de corte blando (flexible) se usa para cortar material duro. Existen discos de corte especiales para cortar titanio.

EMBUTICION (ASPECTOS GENERALES)

Las 2 características principales que tenemos que tener en cuenta a la hora de decidir que resina utilizar, son la dureza y el “efecto bordes”:

La **DUREZA** de la resina debe ser similar a la de la muestra en estudio para evitar que la superficie de la probeta quede cóncava o convexa después del pulido. Si la probeta nos queda con este problema después del pulido, cuando vayamos a verla a través del microscopio no estará enfocada en todos los puntos de la muestra y habrá que reenfoclarla según se mueve la pletina.

El **EFFECTO BORDE** se produce cuando la resina y la muestra no han quedado totalmente unidas. Si hay este agujero, los elementos que se utilizan en el pulido (diamante y lubricante) y especialmente en el ataque químico (restos de nital o etanol), rezuman posteriormente produciéndose sobre-ataques en el borde de las muestras en estudio.

EMBUTICION EN CALIENTE

La resina **BAQUELITA** se suele utilizar con muestras muy blandas (aluminio, algunos bronce). También es habitual usarla en la parte superior de la pastilla con el fin de reducir costes.

La resina **EPO NEGRA** es dura y evita el “efecto bordes” (separación entre la resina y la muestra). Es la resina de más uso junto con la Baquelita.

La resina **DUROPLAST AZUL** es de extrema dureza y es la que evita en mayor medida el “efecto bordes”. Se debe utilizar con materiales extremadamente duros.

La resina **TERMOPLASTICA** se utiliza cuando se necesita que la pastilla sea transparente y así poder ver la muestra a través de ella. Otro uso cada vez más extendido, es utilizarla en la parte superior de la pastilla con el fin de marcar las probetas (poniendo un papel con la referencia de la muestra dentro de la resina) y así evitar el marcado de la pastilla con el lápiz electrónico.

La resina **DUROPLAST NEGRA** tiene grafito en su interior que la hace conductora. Se debe utilizar cuando se deba estudiar la muestra con un SEM (microscopio electrónico).

EMBUTICION EN FRÍO UTILIZANDO MOLDES

Existen 2 tipos de resinas, **metacrilato** y **epoxi**:

Las resinas de **METACRILATO** son de rápido endurecimiento (unos 15 minutos) y existen varios tipos dependiendo de su dureza. Son las más utilizadas.

La resina **EPOXI** es prácticamente transparente y de largo endurecimiento (unas 6 horas). Se utiliza si se necesita minimizar al máximo el “efecto bordes” y por su transparencia.

El tipo de molde utilizado también puede variar la intensidad del “efecto borde” (separación entre la resina y la muestra). En el caso de los moldes blandos de **silicona**, el molde se mueve durante el curado de la resina y puede producir un efecto borde más acusado. En cambio, los moldes duros de **teflón** permiten disminuir este problema. Si se utiliza resina epoxi, se deben utilizar los moldes de **polipropileno** ya que son los únicos que no son atacados por la resina epoxi.

LIJADO

La velocidad de giro en el lijado debe ser de entre 150 y 200 rpm. No se recomienda trabajar a más velocidad ya que se pueden producir rayas que luego son difíciles de quitar. En el caso de materiales blandos (como por ejemplo el aluminio o titanio), la velocidad incluso puede interesar ser menor.

Si se dispone de un cabezal portamuestras, su dirección de giro debe ser la misma que la del plato salvo en las lijas de desbaste (hasta FEPA 240) que puede ser contrario. Se recomienda hacerlo de este modo con el fin de lijar lo más suavemente posible y evitar rayas indeseadas.

Los tipos de lijas que existen son:

- **Lijas de SiC** (Carburo de Silicio): Son las lijas tradicionales y más extendidas en su uso.
- **Lijas de Zr** (Zirconio): Son lijas para realizar desbastes y especialmente para preparar muestras para ensayos de espectrometría. Se deben usar por su alto poder de lijado y por no contaminar la muestra con silicio como lo hacen las de SiC. El silicio es un constituyente del acero y hierro fundido, el zirconio no.
- **Lijas de Diamante** (GALAXY o Adhesivas): Son lijas de gran duración con las que se consigue gran planitud de la muestra y retirar gran cantidad de material rápidamente. Su eficacia es constante a pesar del desgaste. Especialmente recomendadas para materiales duros. Los discos GALAXY están pensados para su uso exclusivo en lijadoras con cabezal automático. Debido a su estructura en forma de celdas, producen mucha vibración en la mano y las hace inviables para su uso manual. Si se tiene una lijadora manual o el material es extremadamente duro (cerámica, vidrio, metal-duro, fibra de carbono) se recomiendan las lijas de diamante adhesivas.

Cuando se usa cabezal portamuestras no se recomienda sobrepasar los 40 N en presión individual (160N en presión central), reduciéndose según se va aumentando la FEPA (disminuyendo el tamaño de grano). En general se puede seguir la siguiente recomendación:

- Para lijas de FEPA120 – 240 usar presión individual de 40 N (160 N en presión central)
- Para lijas de FEPA 400 – 600 usar presión individual de 35 N (140 N en presión central)
- Para lijas de FEPA 800 – 1200 usar presión individual de 30 N (120 N en presión central)

En las lijas de diamante tipo GALAXY nunca superar los 25 N porque se quitaría demasiado material.

Después de cada paso de lijado se debe limpiar con agua las muestras y la lijadora para evitar arrastrar partículas gruesas al siguiente paso de lijado (lija de inferior tamaño de grano).

PULIDO

La velocidad en el pulido debe ser igual o inferior a 150 rpm. Con óxidos de pulido (alúmina o gel de silicio) no se recomienda utilizar una velocidad superior a 100 rpm. Si se utiliza cabezal portamuestras no se recomienda ejercer una presión individual superior a 25 N (100 N en presión central).

Existen varios tipos de paños específicos para cada tamaño de diamante (ver catálogo de consumibles). En general, cuanto menor es el tamaño del diamante, el paño a utilizar tiene más pelusa. Del mismo modo, los paños duros se utilizan con diamante de mayor tamaño.

Para el pulido se utiliza diamante monocristalino o policristalino de tamaño de grano entre 15 y 1 μm . Para el pulido final muy fino se usan óxidos de pulido (alúmina o gel de silicio) inferiores a 1 μm .

Diamante **MONOCRISTALINO**: La relación calidad-precio del diamante monocristalino es muy buena, por lo que es el diamante más utilizado.

Diamante **POLICRISTALINO**: Es más eficiente que el monocristalino, ya que está compuesto de cristales que se van rompiendo según avanza el proceso de pulido. Esto hace que cada vez haya más diamante en el paño. También se debe utilizar en materiales duros (cerámica, vidrio o fibra de carbono).

Pulido final con **ALUMINA**: Se utiliza solamente cuando se debe hacer un estudio a altos aumentos y libre totalmente de rayas. Su tamaño de grano habitual es de 0.06 μm . Se utiliza con materiales duros como todos los tipos de acero y hierro fundido.

Pulido final con **GEL DE SILICIO**: También llamado cuarzo coloidal o gel de cuarzo. Se utiliza solamente cuando se debe hacer un estudio a altos aumentos y libre totalmente de rayas. Su tamaño de grano habitual es de 0.10 o 0.06 μm . Se utiliza con materiales blandos como el aluminio, bronce, cobre. Para el titanio conviene utilizar un preparado de gel de silicio con un PH ácido (PH11) con el fin de minimizar la distorsión de la estructura metalográfica producida durante el lijado y pulido.

Se debe tener una gran limpieza de las muestras entre paño y paño (incluso mayor que la que se tiene con el lijado), limpiándolas con agua y alcohol después de cada paso.

En el caso de utilizar alúmina (EPOSAL) después de terminada la preparación, tanto el paño como los tubos de dosificación automática se deben limpiar con agua. Si no se limpian los residuos, la alúmina se seca cuarteando los paños y no pudiéndose volver a utilizarlos (hay que tirarlos). Los paños para pulido con óxidos (pañós OMEGA) vienen acompañados con una rasqueta para este fin. En cuanto a los tubos de dosificación automática si no se limpian, la alúmina cristaliza en su interior siendo un problema irresoluble (no hay forma de desatascarlos) teniendo que repararse todo el sistema de dosificación.

RECOMENDACIONES PARTICULARES PARA LA PREPARACION MATERIALOGRAFICA DE ALGUNOS MATERIALES

ACERO

1.- Corte:

Se recomienda utilizar los discos de corte tipo H. Otros tipos que se pueden usar son los tipo D o C dependiendo de la dureza del acero.

2.- **Empastillado:** Se puede hacer en caliente o en frío.

2.1 Empastillado en caliente: Utilizar EPO NEGRA.

Presión: 150 – 180 bar.

Temperatura: 170°C – 180°C

Tiempo a máxima temperatura: 3 minutos.

Tiempo de enfriamiento: 4 minutos.

2.2 Empastillado en frío: Utilizar resina dura tipo KEM-15

3.- Lijado:

Para el sistema con cabezal automático se recomienda utilizar lijas de diamante GALAXY:

3.1.- Lija de diamante GALAXY ROJO (FEPA 100) en las siguientes condiciones:

- Velocidad del disco: 200 rpm.
- Tiempo: Hasta que la superficie quede plana (unos 8 minutos)
- Presión individual 40 N (160 N en presión central).
- Dirección de giro del portamuestras contraria al disco de lijado.

3.2.- Girar la probeta 180°, usar GALAXY AZUL (FEPA 600) en las siguientes condiciones:

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: 4 minutos
- Presión individual de 40 N (160 N en central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

Nota: Si se hace manualmente se deben usar lijas de SiC de granos P240, P600 y P800, 3 minutos en cada paso.

4.- Pulido:

Se recomienda usar diamante monocristalino y lubricante en base agua.

4.1.- Pulido con paño tipo DELTA y suspensión de diamante monocristalino de 3 µm.

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: 4 minutos.
- Presión individual no mayor de 30 N (120 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

4.2.- Pulido fino con paño tipo IOTA y suspensión de diamante monocristalino de 1 µm.

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: 3 minutos.
- Presión individual no mayor de 25 N (100 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

HIERRO FUNDIDO

1.- Corte:

Se recomienda utilizar los discos de corte tipo I o H.

2.- Empastillado: Se puede hacer en caliente o en frío:

2.1 Empastillado en caliente: Utilizar EPO NEGRA.

Presión: 150 – 180 bar.

Temperatura: 170°C – 180°C

Tiempo a máxima temperatura: 3 minutos.

Tiempo de enfriamiento: 4 minutos.

2.2 Empastillado en frío: Utilizar resina dura como el KEM-35

3.- Lijado:

Para el sistema con cabezal automático se recomienda utilizar lijas de diamante GALAXY:

3.1.- Lija de diamante GALAXY VERDE (FEPA 320) en las siguientes condiciones:

- Velocidad del disco: 200 rpm.
- Tiempo: Hasta que la superficie quede plana (unos 4 minutos)
- Presión individual 30 N (120 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

3.2.- Girar la probeta 180°, usar GALAXY AZUL (FEPA 600) en las siguientes condiciones:

- Velocidad del disco: 200 rpm.
- Tiempo: 3 minutos
- Presión individual de 30 N (120 N en central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

Nota: Si se hace manualmente se deben usar lijas de SiC de granos P240, P600 y P800, máximo 2 min en cada paso y teniendo en cuenta que hay que girar 90° la probeta cada vez que se cambie de paso.

4.- Pulido:

Se recomienda usar diamante policristalino y lubricante en base alcohol.

4.1.- Pulido con paño ALPHA y suspensión de diamante policristalino de 9 µm.

- Velocidad del disco 150 rpm.
- Tiempo: 3 minutos.
- Presión individual de 20 N (80 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

4.2.- Pulido con paño DELTA o GAMMA y suspensión de diamante policristalino 3 µm.

- Velocidad del disco 150 rpm.
- Tiempo: 3 minutos.
- Presión individual de 20 N (80 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

4.3.- Pulido con paño OMEGA con suspensión de alúmina EPOSIL F (sin lubricante)

- Velocidad del disco 100 rpm.
- Tiempo: Entre 1 y 2 minutos.
- Presión individual de 20 N (80 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

Nota 1 (Importante): Se debe usar sólo etanol en la limpieza entre paños. El agua oxidará la muestra.

Nota 2: Se puede prescindir de los pasos de pulido 4.1 y 4.3 cuando se preparan muestras para controles de calidad que no necesiten ausencia total de rayas, con el paso 4.2 será suficiente.

ALUMINIO Y ALEACIONES DE ALUMINIO

1.- Corte:

Se pueden utilizar los discos de corte duros tipo E o D (ver catálogo de consumibles).

2.- Empastillado:

En el caso del aluminio puro, se recomienda realizar el empastillado en frío para no tener dudas sobre una posible alteración de la estructura del metal durante el proceso de empastillado en caliente. Durante la embutición en caliente se alcanzan temperaturas de 200°C y presiones de 200 bares que pueden transformar la estructura del aluminio. En este caso se recomienda utilizar la resina KEM-20 de metacrilato y los moldes de teflón o silicona.

En el caso de las aleaciones de aluminio, se puede utilizar el empastillado en caliente con una resina blanda como es la Baquelita Negra o Baquelita Roja, en las siguientes condiciones:

Presión: 150 bar.

Temperatura: 150°C

Tiempo a máxima temperatura: 3 minutos.

Tiempo de enfriamiento: 4 minutos.

3.- Lijado:

No se recomienda utilizar las lijas de diamante GALAXY debido a lo blando que es el material. Se debe utilizar el sistema tradicional de lijas de SiC. Los pasos de lija son:

3.1.- Lija de FEPA 240.

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: hasta que la muestra esté plana (normalmente 5 minutos).
- Presión individual no mayor de 25 N (100 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

3.2.- Lija de FEPA 800.

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: entre 2 y 5 minutos dependiendo del tamaño de la muestra.
- Presión individual no mayor de 25 N (100 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

Nota: Si las muestras son muy grandes (diámetro mayor de 40 mm, se recomienda usar 3 pasos de lijado P240, P600 y P1200.

4.- Pulido:

Se debe utilizar lubricante en base acuosa. Los pasos a seguir son:

4.1.- Pulido con paño SIGMA o DELTA con suspensión de diamante monocristalino de 3 µm.

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: 4 minutos.
- Presión individual no mayor de 20 N (80 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

4.2.- Pulido fino con paño tipo OMEGA y suspensión de cuarzo coloidal tipo EPOSIL F de 0,10 µm.

- Velocidad del disco: 100 rpm.
- Tiempo: 2 minutos.
- Presión individual no mayor de 20 N (80 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

Nota: Si no se quiere o puede utilizar el cuarzo coloidal, se puede realizar el pulido fino sustituyendo el paso 4.2 por el siguiente:

4.2. (2ª opción).- Pulido con paño tipo ZETA o IOTA y suspensión de diamante monocristalino de 1 µm.

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: 3 minutos.
- Presión individual no mayor de 20 N (80 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

COBRE – BRONCE - LATON

1.- Corte:

Se recomienda utilizar los discos de corte tipo E (ver catálogo de consumibles) para metales no ferrosos.

2.- Empastillado:

Se recomienda realizar un montaje de empastillado en frío para no tener dudas sobre una posible alteración de la estructura del metal durante el proceso de empastillado en caliente (durante el empastillado en caliente se pueden alcanzar temperaturas de 200°C).

Se puede utilizar el sistema de empastillado a temperatura ambiente de metacrilato KEM-30 y los moldes de teflón (ver catálogo de consumibles).

Como excepción, el bronce se podría empastillar en caliente con BAQUELITA a baja temperatura:

Presión: 150 bar.

Temperatura: 150°C

Tiempo a máxima temperatura: 3 minutos.

Tiempo de enfriamiento: 4 minutos.

3.- Lijado:

No se recomienda utilizar las lijas de diamante GALAXY debido a lo blando que es el material. Se debe utilizar el sistema tradicional de lijas de SiC. Los pasos de lija son:

3.1.- Lija de FEPA 240.

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: hasta que la muestra esté plana (normalmente 5 minutos).
- Presión individual no mayor de 25 N (100 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

3.2.- Lija de FEPA 800.

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: entre 2 y 5 minutos dependiendo del tamaño de la muestra.
- Presión individual no mayor de 25 N (100 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

Nota: Si las muestras son muy grandes (diámetro mayor de 40 mm, se deben usar 3 pasos de lijado con lijas de grano P240, P600 y P1200.

4.- Pulido:

Se debe utilizar lubricante en base acuosa. Los pasos a seguir son:

4.1.- Pulido con paño SIGMA o DELTA con suspensión de diamante monocristalino de 3 µm.

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: 4 minutos.
- Presión individual no mayor de 20 N (80 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

4.2.- Pulido fino con paño tipo OMEGA y suspensión de cuarzo coloidal tipo EPOSIL F de 0,10 µm con 0.5% de reactivo HEYN (al usar este reactivo se evita la distorsión de los granos estructurales que se han producido durante el lijado y pulido).

- Velocidad del disco: 100 rpm.
- Tiempo: 2 minutos.
- Presión individual no mayor de 20 N (80 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

Nota: Si no se quiere o puede utilizar el cuarzo coloidal, se puede realizar el pulido fino sustituyendo el paso 4.2 por el siguiente:

4.2. (2ª opción).- Pulido con paño tipo ZETA o IOTA y suspensión de diamante monocristalino de 1 µm.

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: 3 minutos.
- Presión individual no mayor de 20 N (80 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

ACERO INOXIDABLE

1.- Corte:

Se recomienda utilizar discos de corte del tipo B (ver catálogo de consumibles).

2.- Empastillado:

Utilizar EPO NEGRA en la base, con baquelita negra o roja en la parte de arriba (para reducir el coste del empastillado).

Presión: 150 – 180 bar.

Temperatura: 170°C – 180°C

Tiempo a máxima temperatura: 3 minutos.

Tiempo de enfriamiento: 4 minutos.

3.- Lijado:

3.1.- Lija de diamante GALAXY VERDE (FEPA 320) en las siguientes condiciones:

- Velocidad del disco: 200 rpm.
- Tiempo: Hasta que la superficie quede plana (depende de la calidad del corte)
- Presión individual 25 N (100 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

3.2.- Lija de diamante GALAXY AMARILLO (FEPA 1200) en las siguientes condiciones:

- Velocidad del disco: 200 rpm.
- Tiempo: 3 – 6 minutos
- Presión individual 25 N (100 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

4.- Pulido:

4.1.- Pulido con paño tipo SIGMA, usando suspensión de diamante de 3 µm policristalino y lubricante en base alcohol.

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: 5 minutos
- Presión individual 40 N (160 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

4.2.- Pulido con paño tipo IOTA, usando suspensión de diamante de 1 µm policristalino y lubricante en base alcohol.

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: 5 minutos
- Presión individual 30 N (120 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

Observaciones:

Se pueden utilizar diamante monocristalino pero la duración de cada paso de pulido se podría incrementar al ser menos eficaces.

El lubricante en base alcohol retira del paño el agua de las suspensiones de diamante, lo que hace mejorar los resultados de pulido. Se podría usar lubricante en base agua pero los resultados podrían ser inferiores a los que se consiguen con el lubricante en base alcohol.

FIBRA DE CARBONO

1.- Corte:

Se recomienda utilizar discos de corte de diamante del tipo A (ver catálogo de consumibles). Se puede probar con los discos de corindón tipo E como opción más económica.

2.- Empastillado:

Se debe usar el empastillado en frío debido a que la fibra de carbono se quemaría durante el proceso de empastillado en caliente. Utilizar metacrilatos de dureza media como KEM-35 o KEM-30.

3.- Lijado:

Debido a la gran dureza de la fibra de carbono, se deben utilizar las lijas de diamante adhesivas. No se puede usar el sistema GALAXY por que la superficie de la muestra se deformaría al pasar por las celdas de diamante. Los pasos son:

3.1.- Lija de diamante de 40 µm (equivalente a FEPA 320 – 400).

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: Hasta que la superficie esté plana y uniforme
- Presión individual entre 25 y 35 N (entre 100 y 140 N en presión central).
- Dirección de giro del portamuestras opuesta al disco de lijado.

3.2.- Lija de diamante de 20 µm (equivalente a FEPA 800 – 1000).

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: 3 – 4 minutos
- Presión individual entre 25 y 35 N (entre 100 y 140 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

Algunas veces es suficiente con la lija de 20 micras pudiéndose evitar el paso con la lija de 40 micras.

4.- Pulido:

La fibra de carbono no se consigue pulir con diamante monocristalino, debiéndose utilizar el policristalino. Se debe usar el lubricante en base acuosa.

4.1.- Pre-pulido con paño tipo ALPHA o BETA y suspensión de diamante policristalino de 9 µm.

4.2.- Pulido con paño tipo DELTA y suspensión de diamante policristalino de 3 µm.

Con ambos paños usar las siguientes indicaciones:

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: 10 minutos
- Presión individual entre 30 y 40 N (entre 120 y 160 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

4.3.- Pulido fino con paño tipo OMEGA y suspensión de alúmina tipo EPOSAL de 0.06 µm.

- Velocidad del disco: 100 rpm.
- Tiempo: 5 minutos
- Presión individual entre 25 y 30 N (entre 100 y 120 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

Cuando se comienza el pulido fino con el paño OMEGA, se debe mojar el paño totalmente con agua. Durante los 20 últimos segundos de la preparación se debe usar agua en lugar de Eposal para limpiar los tubos y el paño. Al final de las preparaciones del día, el paño Omega se debe limpiar totalmente con agua. Todo el Eposal se debe retirar del paño para poder utilizarlo posteriormente.

MAGNESIO

La preparación del magnesio es muy complicada y requiere de muchas pruebas hasta dar con el sistema más adecuado a cada laboratorio metalúrgico. Es un material que puede producir llama fácilmente.

1.- Corte:

Se recomienda utilizar los discos de corte tipo E (ver catálogo de consumibles) para metales no ferrosos. En algunos casos, el disco de corte tipo D puede ser más adecuado.

El corte de este material se debe hacer con mucho cuidado y no se debe utilizar agua ya que el polvo de magnesio podría arder fácilmente. Como refrigerante de corte, se debe usar aceite en lugar de agua.

2.- Empastillado:

La única forma de empastillar el magnesio es en frío utilizando KEM-20 o KEM-35 (ver catálogo de consumibles).

3.- Lijado:

Se debe utilizar el sistema tradicional de lijas de SiC y comenzar con el papel más fino posible (por ejemplo P400). Se debe finalizar en P1200. Se puede utilizar agua durante el lijado, aunque a veces es necesario utilizar como lubricante alcohol o una mezcla de glicerina y etanol en proporción 1:3. Como en cualquier preparación metalográfica, las muestras se deben limpiar tras cada paso de lijado. Los pasos de lijado son:

3.1.- Lija de FEPA 400

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: 3 minutos.
- Presión individual de 25 N (100 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

3.2.- Lija de FEPA 600.

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: 6 minutos.
- Presión individual de 25 N (100 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

3.3.- Lija de FEPA 800.

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: 10 minutos.
- Presión individual de 25 N (100 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

3.4.- Lija de FEPA 1200.

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: 16 minutos.
- Presión individual de 25 N (100 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

4.- Pulido:

Tanto las suspensiones de diamante como el lubricante deben ser en base alcohol (no usar base agua). El diamante que mejor funciona es el tipo policristalino (aunque se puede utilizar el monocristalino). Hay que tener cuidado en no poner demasiada suspensión de diamante en el paño. Como en cualquier preparación metalográfica, las muestras se deben limpiar tras cada paso de pulido pero no se debe usar agua, sólo se debe usar alcohol. Los pasos de pulido son:

4.1.- Pulido con paño tipo DELTA y suspensión de diamante de 6 µm.

- Velocidad del disco: Entre 120 y 150 rpm.
- Tiempo: 15 minutos.
- Presión individual de 20 N (80 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

4.2.- Pulido con paño tipo SIGMA y suspensión de diamante de 3 µm.

- Velocidad del disco: Entre 120 y 150 rpm.
- Tiempo: 15 minutos.
- Presión individual de 20 N (80 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

4.3.- Pulido con paño tipo IOTA y suspensión de diamante de 1 µm.

- Velocidad del disco: Entre 120 y 150 rpm.
- Tiempo: Entre 15 y 25 minutos.
- Presión individual de 15 N (60 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

4.4.- Pulido final con paño tipo OMEGA y una mezcla de cuarzo coloidal de 0,10 micras (EPOSIL-F) y Nital (no más de 5% de Nital en el EPOSIL-F). Esta mezcla quita las deformaciones que se han formado en la estructura metalográfica del magnesio durante los pasos anteriores.

INCONEL

1.- Corte:

Se recomienda utilizar los discos de corte tipo A para aceros de composición especial. Los materiales con mucho Níquel como el Inconel son difíciles de cortar por lo que hay que cortarlos despacio.

2.- Empastillado: Se puede hacer en caliente o en frío.

2.1 Empastillado en caliente: Utilizar EPO NEGRA.

Presión: 150 – 180 bar.

Temperatura: 170°C – 180°C

Tiempo a máxima temperatura: 3 minutos.

Tiempo de enfriamiento: 4 minutos.

2.2 Empastillado en frío: Utilizar resina de gran dureza como el KEM-15

3.- Lijado:

Se pueden utilizar las lijas tradicionales de SiC, aunque debido a la gran dureza de la fibra de carbono, se recomienda utilizar las lijas de diamante GALAXY o adhesivas. Los pasos recomendados son:

3.1.- Lija de diamante de 40 µm o GALAXY VERDE (FEPA 300 - 400) en las siguientes condiciones:

- Velocidad del disco: 200 rpm.
- Tiempo: Hasta que la superficie quede plana y totalmente lijada (máximo 3 minutos)
- Presión individual de 20 N (80 N en central). La presión debe ser baja para evitar tapar poros.
- Misma dirección de giro del portamuestras.

3.2.- Lija de diamante de 20 µm o GALAXY AMARILLO (FEPA 800-1200) en las siguientes condiciones:

- Velocidad del disco: 200 rpm.
- Tiempo: entre 1:30 y 2 minutos
- Presión individual de 20 N (80 N en central). La presión debe ser baja para evitar tapar poros.
- Misma dirección de giro del portamuestras.

Nota: Si corte es bueno se puede empezar el lijado directamente con la lija de 20 µm.

4.- Pulido:

Se recomienda utilizar diamante policristalino debido a la gran dureza de los aceros en base Níquel. Se puede utilizar lubricante en base agua o base alcohol. Los pasos de pulido recomendados son:

4.1.- Pulido con paño tipo ALPHA y suspensión de diamante policristalino de 9 µm.

- Velocidad del disco 150 rpm.
- Tiempo: 4 minutos.
- Presión individual de 50 N (200 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

4.2.- Pulido con paño tipo DELTA y suspensión de diamante policristalino de 3 µm.

- Velocidad del disco 150 rpm.
- Tiempo: 4 minutos.
- Presión individual de 50 N (200 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

4.3.- Pulido con paño tipo IOTA o ZETA y suspensión de diamante policristalino de 1 µm.

- Velocidad del disco 150 rpm.
- Tiempo: 4 minutos.
- Presión individual de 35 N (140 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

TITANIO

El titanio y sus aleaciones, entrañan dificultades en su preparación y el camino a seguir depende mucho de la cantidad de titanio presente en el material. El titanio es muy blando y los granos estructurales se pueden deformar durante el lijado y pulido por lo que todos los pasos se deben hacer muy suavemente (poca velocidad y poca presión). Estas deformaciones se deben corregir durante el pulido final utilizando una solución química ácida tipo Kroll o un preparado comercial EPOSIL M11 de cuarzo coloidal que ya contiene está ácido (ver sección de pulido).

1.- Corte:

Se recomienda utilizar discos de corte del tipo F específicos para este material (ver catálogo de consumibles).

2.- Empastillado:

2.1.- Empastillado en caliente:

Utilizar EPO NEGRA en la base, con baquelita negra en la parte superior (para reducir costes).

Presión: 150 – 180 bar.

Temperatura: 170°C – 180°C

Tiempo a máxima temperatura: 3 minutos.

Tiempo de enfriamiento: 4 minutos.

2.2.- Empastillado a temperatura ambiente:

Utilizar la resina de metacrilato blanda KEM-20 y los moldes de teflón (ver catálogo de consumibles).

3.- Lijado:

Dado lo blando que es el titanio, no se pueden usar las lijas de diamante tipo GALAXY, se deben utilizar las lijas de carburo de silicio (SiC). Para evitar deformaciones en los granos estructurales, se recomienda usar varios pasos de lijado con una presión baja y durante mucho tiempo.

Hacer el lijado en 5 pasos usando FEPA 240, FEPA 400, FEPA 600, FEPA 800 y FEPA 1200, cada uno de ellos en las siguientes condiciones:

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: entre 4 y 6 minutos.
- Presión individual de 20 N (entre 80 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

4.- Pulido:

4.1.- Pulido con paño ALPHA, suspensión de diamante de 9 o 6 µm y lubricante en base acuosa.

4.2.- Pulido con paño tipo DELTA y suspensión de diamante de 3 µm y lubricante en base acuosa

Con ambos paños se pueden seguir las siguientes indicaciones:

- Velocidad del disco: 150 rpm.
- Tiempo: 10 minutos.
- Presión individual de 20 N (entre 80 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

4.3.- Pulido fino con paño tipo OMEGA y una suspensión usando cuarzo coloidal tipo EPOSIL-F de 0,10 µm con una de las siguientes composiciones:

Suspensión 1: 100 ml Eposil F + 0.5 ml de H₂O₂ (opción más recomendable)

Suspensión 2: 100 ml Eposil F + 5-6 gotas de Kroll

Suspensión 3: 100 ml Eposil F + 0.5 ml NH₃

Suspensión 4: Se puede utilizar nuestro preparado Eposil M11

Hay que manejar esta composición con mucho cuidado ya que es muy agresiva debido al ácido HF y al agua oxigenada (H₂O₂). Al utilizar esta suspensión se mejoran las posibles distorsiones de los granos aparecidas durante el lijado y pulido con diamante.

Usarlo en las siguientes condiciones:

- Velocidad del disco: 100 rpm.
- Tiempo: Entre 5 y 10 minutos dependiendo del tamaño de la muestra (cuanto mayor es la muestra, más tiempo de pulido hace falta).
- Presión individual de 20 N (entre 80 N en presión central).
- Misma dirección de giro del portamuestras.

Nota: Durante el proceso de pulido con diamante, se puede usar el lubricante normal. Si se quiere obtener mejores resultados, se debe mezclar el lubricante con 0.5% H₂O₂, pero se debe manejar con cuidado debido a la agresividad del agua oxigenada.

Estas disoluciones son muy útiles para minimizar distorsiones en la estructura metalográfica de los granos del titanio.