



EL PULIDO EN LA FABRICACIÓN DE MOLDES

EL PULIDO EN LA FABRICACIÓN DE MOLDES



LA SUPERFICIE COMO ESPEJO DE NUESTRO TIEMPO

¿Cómo son las superficies nuevas, modernas y orientadas a las nuevas necesidades del futuro? ¿Podemos establecer una relación entre estética, alta calidad, robustez, fácil mantenimiento y un acabado de calidad superior? Las exigencias de las superficies de los nuevos materiales son cada vez más diversas e increíblemente específicas, enfocadas siempre a la búsqueda de la excelencia para la aplicación a la que irán destinados.

La técnica del pulido de acero se ha ido convirtiendo en un aspecto cada vez más relevante en muchas aplicaciones, especialmente en lo referente a la industria del procesado de plásticos, donde las exigencias del acabado de los moldes son increíblemente elevadas.

Los moldes con mejor acabado superficial son los que ofrecen mayores ventajas:

- » Componentes plásticos con las superficies de más alta calidad
- » Buenas propiedades de desmoldeo (fácil expulsión) de las piezas plásticas
- » Propiedades ópticas mejoradas (para gafas, lentes, pantallas planas y proyectores para la industria automovilística)

Las superficies con un pulido superior ofrecen mejoras tecnológicas significativas:

- » **Mayor resistencia a la corrosión**
Las superficies pulidas sufren muchos menos ataques corrosivos que las superficies rectificadas
- » **Mayor seguridad ante grietas y roturas**
Una superficie pulida presentará mayor resistencia ante este tipo de ataques y sufrirá menos efectos de muesca que las superficies no pulidas.
Todas estas características se traducen en un [incremento de la vida útil del molde](#).



¿CÓMO DEBE SER UN ACERO PARA OBTENER EL MEJOR PULIDO?

Hay características significativas que inciden directamente en el nivel de pulibilidad de un acero, como la pureza, la homogeneidad de su microestructura, el tamaño y la distribución de los carburos, así como la presencia de determinados elementos en su composición química. Los aceros con una estructura poco homogénea tienden a presentar considerables deficiencias al ser pulidos.

La homogeneidad y la pureza del acero dependen directamente del proceso productivo de este. Lo primero a considerar es el proceso metalúrgico y la tecnología de fundición empleadas en la obtención del acero.

En procesos de fundición abierta, como es el caso de bloques de grandes dimensiones, no se puede descartar el riesgo de inclusiones de óxido no deseadas en el acero. Pero estos no son los únicos aspectos relevantes a tener en cuenta, también deben considerarse todas aquellas inclusiones que puedan afectar al proceso de desoxigenación del acero. Debemos evitar los óxidos más grandes, duros y quebradizos ya que en el proceso de pulido dan lugar a poros; estas imperfecciones no se podrán corregir y afectarán negativamente al pulido del material.

En BÖHLER, gracias a nuestra avanzada tecnología metalúrgica, le garantizamos un acero con bajo contenido en oxígeno y, por lo tanto, con bajo contenido de óxidos en su interior, asegurando así la mínima cantidad posible de inclusiones no deseadas en el acero. En resumen, el acero de la mayor calidad y homogeneidad estructural del mercado.

Un bloque de nuestro acero en estado de suministro, ajustado a sus dimensiones finales y sometido al tratamiento térmico adecuado, presentará tal baja cantidad de segregaciones que compensará las posibles diferencias de dureza que haya en la pieza, por lo que las diferencias de homogeneidad prácticamente no influenciarán para nada el resultado del pulido.

Habitualmente, los niveles de segregación y homogeneidad del acero pueden mejorarse mediante procesos de refundición, como son la refundición al vacío VAR (Vacuum Arc Remelting) o la refundición bajo electroescoria ESR (Electroslag Remelting). Ambos procesos minimizan las inclusiones no metálicas no deseadas en el acero. Es posible alcanzar todavía un nivel más alto de pureza mediante el uso del horno de inducción al vacío (VIM) o en la refundición al vacío (VLBO).

FACTORES DE INFLUENCIA EN LA PULIBILIDAD

CALIDAD DEL ACERO

- » El proceso de fundición es clave en la obtención de un acero con un nivel de pureza adecuada
- » Determinado tipo de inclusiones en el acero, principalmente sulfídicas, pueden tener más dureza que la del acero en sí y provocar elutriación
- » Es habitual que las inclusiones tengan un tamaño de varias micras y forma alargada

COMPONENTES DE LA ALEACIÓN

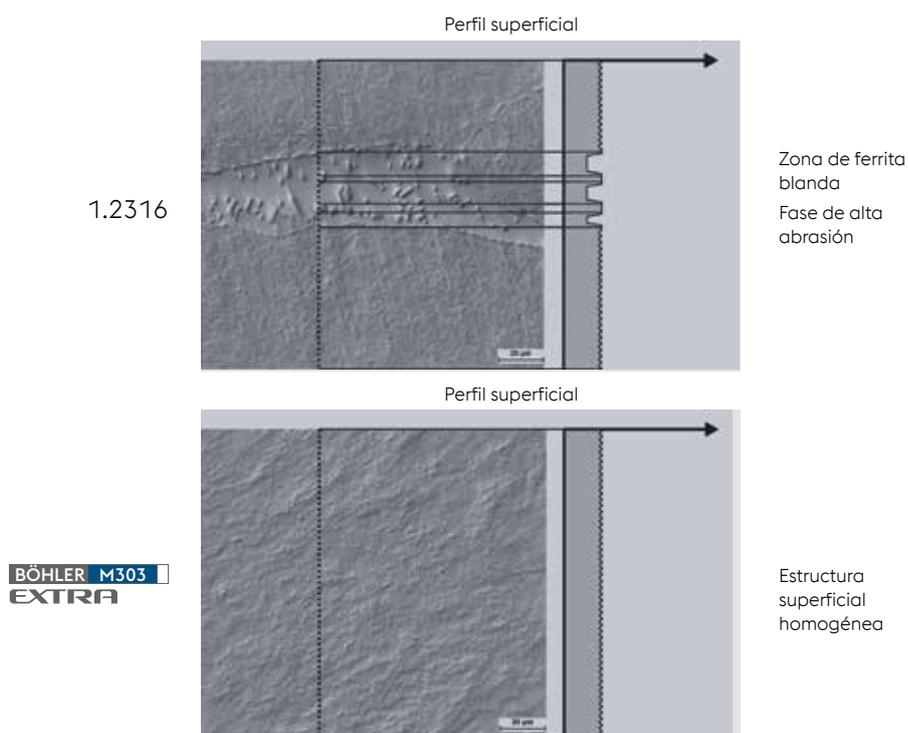
- » Generan diferentes niveles de dureza en la estructura del acero
- » Pueden provocar elutriación
- » La presencia de componentes en forma cristalina puede generar roturas en la superficie

Qué influencia tiene la composición química de la aleación en la pulibilidad del acero:

En el caso de un acero 1.2316, los carburos en fase dura incrustados en las diferentes fases del acero, específicamente en la zona de ferrita delta blanda, hacen que el pulido de este acero sea muy irregular.

Nuestro acero BÖHLER M303 EXTRA presenta un patrón de pulido uniforme que se traduce en una considerable ventaja en comparación con la calidad estándar.

Comparación de superficies





TIPOS DE PRODUCCIÓN METALÚRGICA

Aceros Refundidos

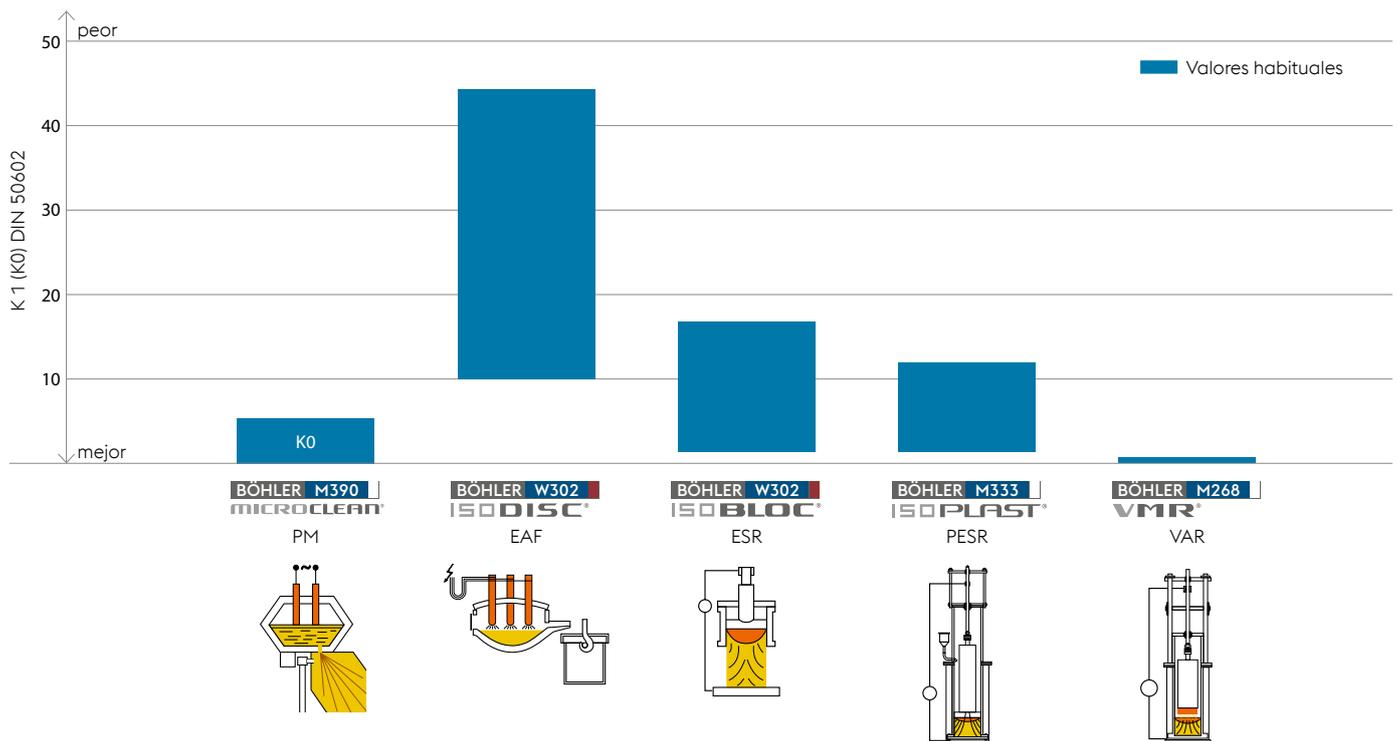
Aceros que, en comparación con los aceros de producción convencional, presentan las siguientes ventajas:

- » Estructura primaria uniforme y ausencia destacable de segregaciones y defectos internos gracias a la solidificación
- » Baja cantidad de segregaciones cristalinas y mayor uniformidad en la microestructura microscópica
- » Baja cantidad de inclusiones no metálicas, mejor distribuidas y de tamaño más reducido, que incrementan el nivel de pureza del acero

Aceros Pulvimetalúrgicos

Tipología de aceros de alta aleación empleados principalmente para utillajes, con propiedades isotrópicas y estructura fina. Presentan una distribución homogénea de carburos del tamaño de unas pocas micras en su matriz estructural, que favorece increíblemente la pulibilidad del acero.

Pureza del acero en función del proceso de producción



TRATAMIENTO TÉRMICO

Para poder trabajar con un acero que presente las mejores aptitudes para el pulido es necesario realizar un tratamiento térmico muy meticuloso y, preferiblemente, al vacío o en hornos de atmósfera de gas. El proceso de carburación y descarburación generado durante el tratamiento térmico puede generar diferentes valores de dureza en la superficie del molde, lo cual dará lugar a resultados negativos en los trabajos de pulido. Existen más factores que pueden influenciar negativamente al pulido de la herramienta, como las precipitaciones en el contorno de los granos y el aumento de su tamaño como resultado de la aplicación de temperaturas de austenización desfavorables, tiempos de permanencia incorrectos y velocidades de enfriamiento lentas.

EROSIÓN

Es necesario prestar especial atención a las superficies erosionadas durante el pulido. La erosión conlleva un cambio estructural en la superficie que habitualmente deriva en un exceso de carbono acumulado en dicha superficie, lo cual se traduce en formación de carburos. La solidificación abrupta focalizada hace que la martensita se fragilice. La presencia de carburos incrementa el riesgo de formación de agujeros, grietas en la superficie y el efecto cáscara de naranja. Para lograr un buen pulido tipo espejo, es necesario eliminar todo el material hasta llegar por debajo de la superficie erosionada.

3 NIVELES DE CALIDAD

3 TECNOLOGÍAS

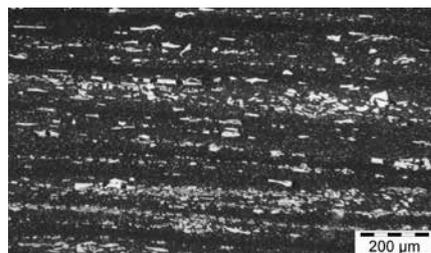
CONVENCIONAL



Producción Convencional

Los aceros fabricados mediante el uso de arco eléctrico son conocidos como aceros de fundición convencional y se les llama “aceros convencionales” debido a su carga ordinaria y propiedades primarias:

- » Distribución de carburos en franjas paralelas
- » Nivel básico de pureza



Microestructura de un acero convencional al 12% de cromo

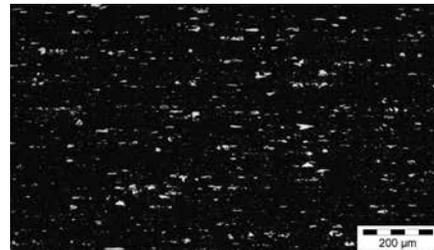
PREMIUM



Producción ESR (Electroslag Remelting)

La producción metalúrgica con tecnología ESR asegura la obtención de aceros con propiedades mejoradas. Utilizar un acero ESR garantiza una herramienta con mayor vida útil gracias a su:

- » Alto nivel de pureza
- » Bajo nivel de segregaciones
- » Capacidad para mantener la misma distribución uniforme de los carburos en piezas de grandes dimensiones
- » Cambios dimensionales uniformes
- » Mejor tenacidad



Microestructura de un acero ESR al 8% de cromo

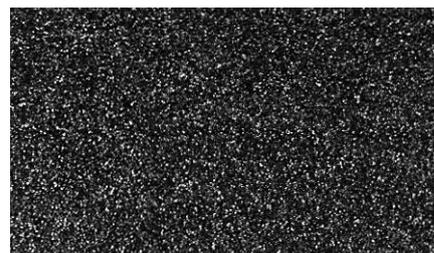
SUPERIOR



Producción Pulvimetalúrgica

Los aceros producidos mediante tecnología pulvimetalúrgica se utilizan cada vez más para todas aquellas herramientas destinadas a las aplicaciones más exigentes, expuestas a ambientes de trabajo adversos y en las que se busca la mayor rentabilidad del utillaje. Se caracterizan por:

- » Acero sin segregaciones
- » Óptima distribución de los carburos
- » Propiedades isotrópicas
- » Alta resistencia al desgaste
- » Muy buena estabilidad dimensional
- » Alta resistencia a la compresión
- » Alta tenacidad y dureza



Microestructura de un acero pulvimetalúrgico

LA TECNOLOGÍA ADECUADA PARA EL PULIDO ES DECISIVA



TIPOLOGÍAS DE PULIDO

La superficie del molde debe cumplir unos requisitos en función de la aplicación en la que será utilizado. Generalmente, se pueden clasificar en 4 grupos:

Pulido industrial

- » Superficies sencillas – pulidas principalmente con trapos abrasivos, bancos de pulir manuales o limas
- » Se utiliza para facilitar el desmoldeo de componentes de fundición inyectada o moldes de plástico
- » Para superficies no visibles, como el interior de una muesca
- » Como paso previo a la nitruración y granulado / Como preparación para la nitruración y granulado
- » Las herramientas de pulido utilizadas deben tener un tamaño de grano de 320 - 400

Pulido Brillante

- » En este tipo de superficies resulta fácil detectar marcas como resultado del pulido
- » Las superficies y cavidades son brillantes
- » Especialmente adecuado para elementos visibles que deban ser estéticamente sugerentes (artículos del hogar, elementos transparentes, etc.)
- » Superficie limpia y brillante, capaz de ser analizada a simple vista
- » Se puede lograr un pulido final de 3 -6 μm con el empleo de fieltro y pastas de pulir de diamante

Pulido Espejo

- » Sin ralladuras visibles ni zonas que no reflejen como un espejo (pulido espejo sin ralladuras)
- » Un tipo de pulido especialmente utilizado para aceros cromados

Pulido espejo con la máxima precisión dimensional

- » Máxima exigencia en el acabado superficial del acero
- » Además del alto brillo del pulido sin ralladuras, también es necesaria la adherencia a la macroestructura del acero, como por ejemplo una superficie perfectamente plana, con bordes afilados y manteniendo los ángulos



INFLUENCIA DE LA HERRAMIENTA DE PULIDO / MATERIAL DE SOPORTE

La dureza del material de soporte y del tamaño del grano del pulimento pueden ser factores decisivos para determinar la profundidad de la rugosidad de la superficie a ser tratada. Cuanto mayor sea la profundidad de penetración en la herramienta de pulido con el mismo tamaño de grano, menor será la profundidad de penetración en la superficie y los resultados de corte de la herramienta de pulido. El nivel de adhesión de los granos del pulimento es crucial para lograr un buen pulido. Si el grano se adhiere firmemente al pulimento, el pulido se verá enormemente favorecido y se evitará el desplazamiento / rodamiento del pulimento en la superficie. La adherencia de los granos

puede verse influenciada por la presión ejercida durante el trabajo de pulido y por el líquido empleado.

Requisitos esenciales para lograr el mejor pulido:

- » Rectificado basto y acabado de la pieza bien realizados
- » Elección de las herramientas y pastas de pulido más apropiadas
- » Evitar el sobrepulido de la pieza
- » Evitar puntos de contacto con demasiada presión
- » Trato cuidadoso y limpieza adecuada de las herramientas de pulido
- » Limpieza en general (las mejores condiciones de limpieza)



FÍATE DE TU VISTA

LA TÉCNICA DE PULIDO

Debido a la influencia de factores muy diversos, no es posible establecer unas guías de referencia sobre las que lograr el mejor pulido para una superficie. La selección de los criterios de pulido, agentes de pulido y herramientas provienen principalmente del conocimiento y experiencia del pulidor. La siguiente tabla informativa de pulido representa una secuencia muy común de las diferentes operaciones, desde el mecanizado al pulido.

En función de la calidad y del tratamiento inicial de la superficie (erosión, fresado o rectificando), se recomienda el empleo de una rueda abrasiva con un tamaño de grano de 320, 400 o 600 para eliminar todas las trazas de prefabricación. Para lograr un pulido óptimo, es necesario un chorreado de arena después del acabado para que la superficie sea compacta.

El proceso del pulido sigue diversos pasos. Empezando con un material de soporte tipo madera robusta, latón o plástico, con una pasta de unas 15 micras (apenas corresponde a un tamaño de grano abrasivo de 1000 - 1200). Todas las trazas de las etapas anteriores deberían eliminarse. A continuación, la dureza del soporte / herramienta se mantendrá, pero el grano de pasta se verá reducido (por ejemplo, a unos 9µm). Tras este paso, se puede cambiar el soporte a un medio con menor dureza, como fieltro o madera blanda. Este proceso debe repetirse hasta conseguir un tamaño de grano de 1 - 3 micras mediante el uso de fieltro o un paño.

Superficie inicial	Banco de pulido de piedra o lino				Tela esmeril o madera dura con pasta	Madera blanda o fieltro de pulido	Fieltro de pulido o paño
Erosionado	K320	K400	K600	K800	K1000 15 µm	6 µm 9 µm	3 µm
Fresado fino							
Rectificado fino							
R_o (µm)	0.4	0.3	0.2	0.1	0.06	0.03	0.02
R_z (µm)	3.2	2.3	1.2	0.7	0.4	0.2	0.15

CLASIFICACIÓN DE LOS DEFECTOS DEL PULIDO



La información "Clasificación de los defectos del pulido" ha sido proporcionada por cortesía del Fraunhofer Institute for Production Technology IPT.

Fuente: PROCESS STRATEGIES FOR DEFECT FREE POLISHED STEEL SURFACES, páginas 9 - 15, Fraunhofer Institute for Production Technology IPT.

DEFECTOS DE LAMINACIÓN

Ralladuras

Retrocesos planos no direccionales, principalmente originados por los bordes cortantes de las partículas de pulido o partículas de intrusiones no deseadas (profundidad ~ rugosidad Rt).

Recomendaciones

- » En función de los requisitos de la superficie, pueden persistir pequeñas ralladuras
- » Se debe poner especial atención en la limpieza del espacio de trabajo donde se realizará el pulido para evitar que agentes externos no deseados generen ralladuras
- » Realizar el pulido final con pequeñas partículas abrasivas

Efecto piel de naranja

La presencia de pequeñas irregularidades en la superficie pueden generar un efecto de piel de naranja. Estas irregularidades se generan por aplicar presión excesiva y por tiempos de pulido demasiado prolongados.

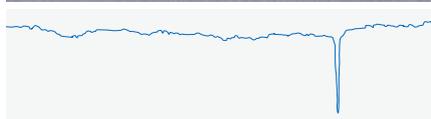
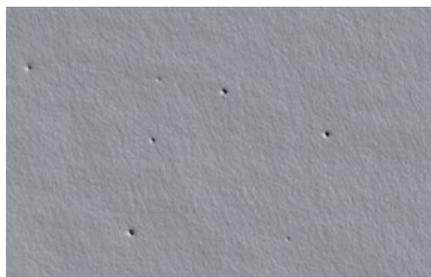
Recomendaciones

- » Trabajar con presiones bajas
- » Evitar tiempos de pulido muy prolongados («sobrepulir»)

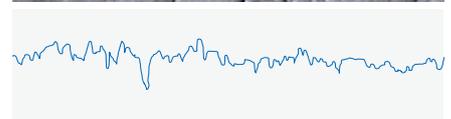
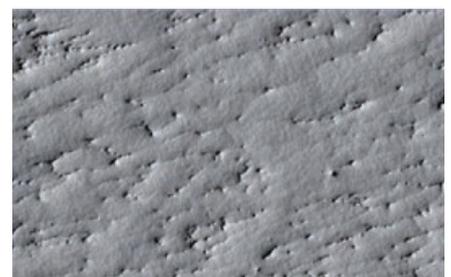
Efecto piel de naranja



Picadura



Relieve



Efecto borroso (niebla)

Superficies menos brillantes. Las deposiciones (o depósitos) de pulido pueden generar el efecto borroso en la superficie.

Recomendaciones

- » Utilizar pulidores de pH neutro que no generen ninguna reacción química
- » Trabajar a bajas presiones para evitar que los granos del material de pulido fueren la superficie

Picadura

Las picaduras en la superficie se traducen en pequeños agujeros a lo largo de toda la superficie pulida.

Recomendaciones

- » Mantener una presión constante
- » Etapas cortas de trabajo de pulido, realizando labores de limpieza en las pausas y disponer de un ambiente seco para evitar la corrosión

Relieve

Originado por las irregularidades surgidas durante la eliminación / limpieza de las diferentes fases de pulido debido a los diferentes estados del material (duro / suave).

Recomendaciones

- » Antes de pulir, se debe asegurar que la estructura del material sea tan homogénea como sea posible para mantener las diferentes fases del material bajas
- » Cuando se realice el pulido, se debe escoger una herramienta tan dura como sea posible para que las fases del material se eliminen, incluso con diferentes durezas

TIPOLOGÍA DE DEFECTOS

Redondeo de los bordes

Eliminación no deseada de material de los bordes de la pieza de trabajo.

Recomendaciones

- » Utilizar una herramienta de pulido apropiada: un trapo de pulir duro con baja resiliencia
- » Reducir la presión

Ondulación

Según la norma DIN EN ISO 8785, se entiende por ondulación una desviación de la geometría original dentro del rango de milímetros a centímetros.

Este tipo de defecto ocurre principalmente durante el pulido manual.

Recomendaciones

- » Aplicar presión distribuida homogéneamente en toda la pieza durante el pulido para lograr uniformidad

CLASIFICACIÓN DE LOS DEFECTOS DEL PULIDO



DEFECTOS ESPECÍFICOS

Grietas

Ralladuras muy profundas (con forma afilada) originadas, principalmente, por someter la herramienta a altos niveles de estrés / tensiones.

Recomendaciones

» No es posible evitar este problema durante el proceso de pulido de la herramienta al ser un problema del material. Por este motivo, es recomendable analizar la pieza por adelantado para analizar la presencia de roturas inapreciables o defectos del material.

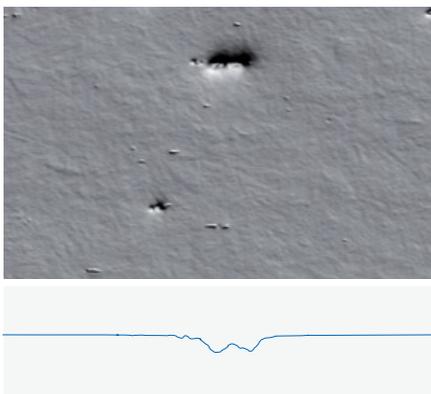
Agujeros/Fisuras

Agujeros de tamaños diversos. Se forman allí donde haya inclusiones no metálicas y carburos en la microestructura.

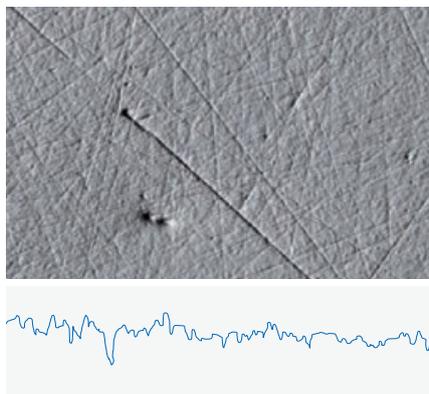
Recomendaciones

- » Trabajar con presiones bajas y evitar rasgaduras
- » Si la superficie del material exige unos requisitos muy elevados por su alta pureza, se recomienda utilizar el material con la estructura más homogénea posible
- » Utilizar un paño de pulido sin pelo para eliminar carburos e inclusiones
- » Utilizar bajas presiones durante el prerectificado y el rectificado

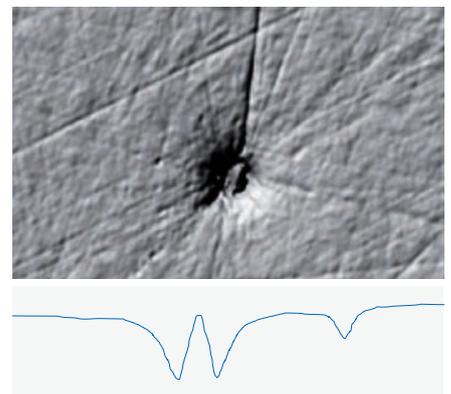
Agujeros/Fisuras



Formación de estrías



Impurezas



Formación de estrías

Profundas, con dirección marcada (profundidad >> rugosidad Rt). Aparecen cuando las trazas de la etapa anterior (habitualmente en el preprocesado) no se han eliminado totalmente.

Recomendaciones

- » Eliminar siempre todas las marcas o trazas de las etapas previas

Picos sobresalientes

Elevaciones no niveladas del material. Pueden deberse a que el material de trabajo de pulido no haya sido eliminado homogéneamente durante el pulido o a que partículas de pulido hayan sido presionadas en la superficie durante el proceso de pulido.

Recomendaciones

- » Distribuir homogéneamente de la presión
- » Emplear un pulimento

Rastros de cometa

Inclusiones con un rastro visible en la superficie que recuerdan a un cometa.

Recomendaciones

- » En la muestra de preparación metalográfica, no debería ser posible pulir los “cometas” cuando aparezcan
- » Al pulir manualmente, hacerlo a alta velocidad puede prevenir la formación de cometas

OTROS DEFECTOS

Impurezas

Una oquedad o agujero relleno de material no deseado (partículas de suciedad o de productos de limpieza y eliminación).

Recomendaciones

- » Limpieza en el trabajo
- » Emplear bajas presiones para prevenir que las partículas se introduzcan en los agujeros

Corrosión

Reacción del material de trabajo ante sustancias del ambiente al que está expuesto. La corrosión se puede generar por un secado no adecuado tras la limpieza.

Recomendaciones

- » Limpiar y secar las muestras inmediatamente después de ser procesadas
- » Almacenar las muestras en un ambiente seco

Quemaduras

Patrones similares a una quemadura en la superficie del material de trabajo. Originadas por haber aplicado demasiado calor durante el proceso de pulido y que generan daños en la estructura superficial (microroturas).

Recomendaciones

- » Utilizar suficiente refrigerante / lubricante durante el proceso

Decoloración

Superficie con diferente apariencia (generalmente mate) al del resto de la superficie. No presenta cambios topográficos.

Recomendaciones

- » Utilizar pulimentos neutros para evitar desperfectos en la superficie
- » Para materiales blandos, trabajar a presiones bajas para evitar que los granos del pulimento se asienten en la superficie



VALORACIÓN DE LA PULIBILIDAD

La calidad de la superficie de los componentes de moldes de inyección o compresión se acostumbra a definir por indicaciones como “pulido” o “acabado espejo”, sin que estos términos puedan controlarse por indicadores medibles. Pese a que se pueda replicar un buen pulido indicando correctamente todos los pasos a seguir en el proceso de pulido, esto no es garantía suficiente para que el pulido pueda reproducirse con todos los estándares de calidad.

La apreciación visual de una superficie lisa y brillante depende de un conjunto de efectos ópticos y psicológicos muy variables. Como resultado, es muy difícil establecer una correlación válida entre la impresión visual y variables medibles cuantitativamente. Es por estos motivos por los que es tan importante la opinión y asesoramiento de los profesionales de pulido.

PULIDO DE CALIDADES BÖHLER



El objetivo de la siguiente tabla es el de asesorar sobre las diferentes características de estos materiales para ser pulidos. Para su elaboración hemos recibido la ayuda de los especialistas de joke-Technologies. Esta guía se basa en la aptitud del material para lograr el pulido tipo espejo y el tiempo necesario para adquirir este pulido.

Esta información hace referencia a dimensiones de redondos pequeños (50-80 mm) sometidos a un pulido transversal a la dirección del grano y que sirve como comparativa principal de las diferentes calidades de acero. En los materiales reales de trabajo, las desviaciones de la pulibilidad originadas por las dimensiones, el cambio de posición, la coherencia estructural de la dirección de la fibra y la superficie del material de trabajo a ser pulido. Adicionalmente, la pulibilidad varía según el tipo de proceso de pulido y la secuencia de los pasos de pulido.

Aceros resistentes al desgaste, no resistentes a la corrosión

BÖHLER K110	★
BÖHLER K340 ISODUR®	★★
BÖHLER K360 ISODUR®	★★
BÖHLER K390 MICROCLEAN®	★★★★
BÖHLER K490 MICROCLEAN®	★★★★★
BÖHLER K600	★★★★★
BÖHLER K890 MICROCLEAN®	★★★★★
BÖHLER S390 MICROCLEAN®	★★★★

Aceros para trabajo en caliente

BÖHLER W300 ISOBLOC®	★★★
BÖHLER W302 ISOBLOC®	★★
BÖHLER W350 ISOBLOC®	★★★★★
BÖHLER W360 ISOBLOC®	★★★★★
BÖHLER W400 VMR®	★★★★★
BÖHLER W403 VMR®	★★★★★

Aceros para tratamiento térmico, resistentes a la corrosión

BÖHLER M310 ISOPLAST®	★★★
BÖHLER M333 ISOPLAST®	★★★★★
BÖHLER M340 ISOPLAST®	★★
BÖHLER M368 MICROCLEAN®	★★★★
BÖHLER M390 MICROCLEAN®	★★★
BÖHLER N685	★

Aceros pretemplados, no resistentes a la corrosión

BÖHLER M200	★★
BÖHLER M261 EXTRA	★★★
BÖHLER M238	★★★
BÖHLER M238 EXTRA HIGH HARD	★★★★
BÖHLER M268 VMR®	★★★★★

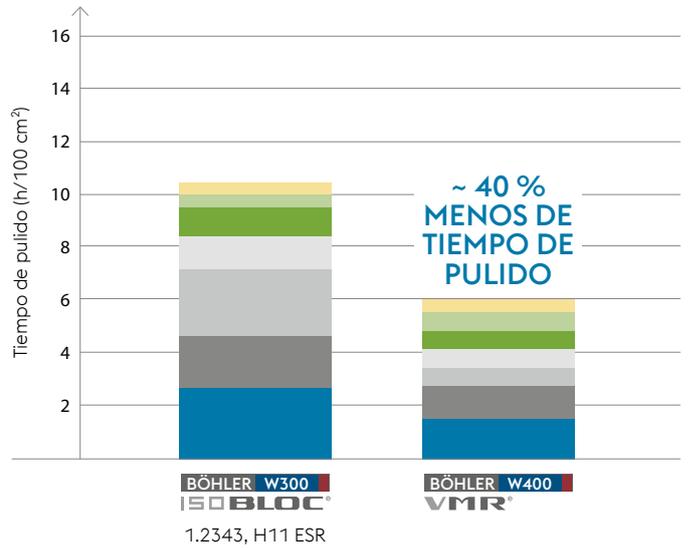
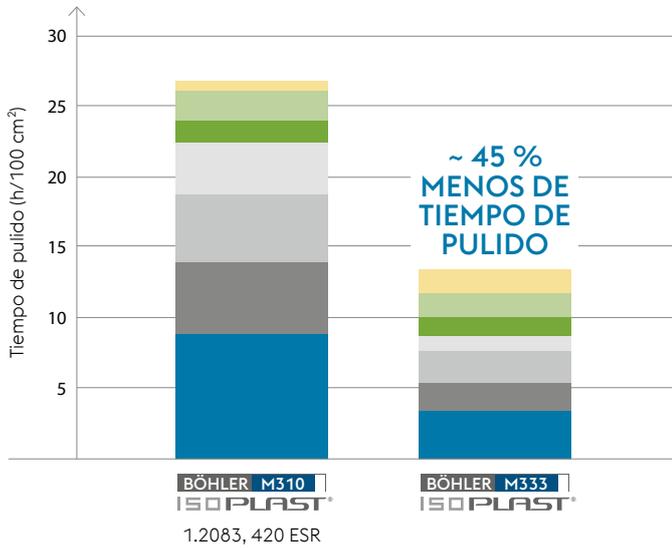
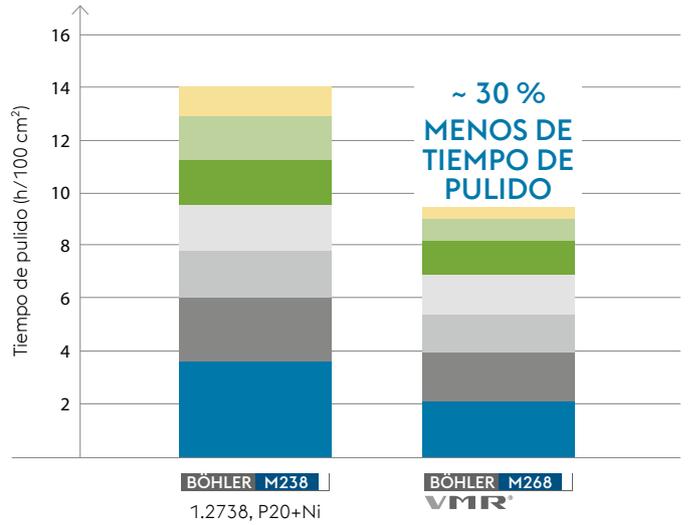
Aceros pretemplados, resistentes a la corrosión

BÖHLER M303 EXTRA	★★★★
BÖHLER M303 EXTRA HIGH HARD	★★★★★
BÖHLER M314 EXTRA	★★
BÖHLER M315 EXTRA	★
BÖHLER N700	★★★

El propósito de esta tabla es el de asesorar sobre las diferentes aptitudes para el pulido de un acero dentro de su grupo. No se puede ni debe utilizarse como una comparativa entre calidades de acero de diferentes grupos al no ser válida.

CASOS DE ESTUDIO

La siguiente comparación muestra a forma de ejemplo el tiempo necesario para lograr que la superficie del material alcance el pulido tipo espejo. El estudio parte de un material con una superficie prerectificada.



Etapas de pulido



La información de este catálogo es meramente de carácter informativo y, por lo tanto, no deberá ser tomada como garantía de recomendación vinculante. Solo podrá estar vinculada mediante contrato firmado en el que se estipule esta información como vinculante.

Los datos mostrados son resultados de ensayos llevados a cabo en laboratorio y pueden desviarse del análisis práctico. La producción de nuestros aceros no incluye el uso de sustancias perjudiciales para la salud o para la capa de ozono.

Aceros BÖHLER

Es una división de voestalpine High Performance Metals Ibérica, S.A.U.

Andorra 59-61 (Pol. Ind. Can Calderon)

08840 Viladecans (Barcelona), Spain

T. +34 934 609 901

E. infospain@voestalpine.com

www.acerosbohler.com

voestalpine

ONE STEP AHEAD.