

35. Mandrinado: principios del mecanizado por mandrinado. Máquinas para el mandrinado, tipos, precisiones y limitaciones de las formas obtenibles, estructura y elementos constituyentes de las máquinas. Utillajes de sujeción de piezas y herramientas. Accesorios.

MECANIZADO Y MANTEMINIMIENTO DE MÁQUINAS



TEMARIO OFICIAL ACTUALIZADO

Introducción

El mandrinado es un proceso de mecanizado fundamental en la industria del metal y en el ámbito del mantenimiento de maquinaria. Su importancia radica en la capacidad de obtener acabados internos precisos y en el ajuste de diámetros interiores con tolerancias muy estrechas, lo que resulta esencial en componentes críticos de diversos sectores industriales, como la automoción, la aeronáutica y la fabricación de maquinaria pesada. Además, el mandrinado permite realizar operaciones complejas de mecanizado en el interior de las piezas, como cilindrados, escariado y roscados internos, ampliando así sus aplicaciones en múltiples procesos productivos.

Desde un punto de vista económico, el mandrinado contribuye a la optimización de costes en la fabricación, al reducir la necesidad de procesos adicionales de rectificado o ajuste. Socialmente, su aplicación en la producción de componentes para sectores estratégicos mejora la seguridad y la calidad de vida, al permitir la fabricación de piezas esenciales para infraestructuras, vehículos y equipos médicos. En el ámbito educativo, especialmente en la Formación Profesional de la especialidad de Mecanizado y Mantenimiento de Máquinas, el conocimiento y la destreza en esta técnica son fundamentales para preparar a los futuros profesionales con competencias alineadas con las necesidades del mercado laboral.

En este contexto, la LOMLOE y la Ley Orgánica 3/2022 de Ordenación e Integración de la Formación Profesional refuerzan la importancia del desarrollo de las competencias del alumnado para mejorar su potencial de empleabilidad. La enseñanza del mandrinado no solo aporta habilidades técnicas específicas, sino que también fomenta el aprendizaje de competencias transversales como la precisión, la planificación del trabajo y el control de calidad, todas ellas altamente valoradas en la industria.

A lo largo del desarrollo de este tema se abordarán los principios técnicos del mandrinado, las distintas máquinas utilizadas, las características de los utillajes y accesorios necesarios, así como las limitaciones y precisiones de las formas obtenibles. Esto permitirá no solo comprender el proceso desde un enfoque teórico, sino también visualizar su aplicación práctica en el entorno productivo y educativo, promoviendo así una formación integral y adaptada a los estándares profesionales actuales.

Mandrinado: principios del mecanizado por mandrinado

El mandrinado es un proceso de mecanizado por arranque de viruta que se utiliza para el acabado y ampliación de agujeros previamente realizados en una pieza. Este proceso se lleva a cabo mediante la rotación de una herramienta de corte mientras se avanza axialmente dentro del orificio, garantizando un acabado superficial preciso y una alta exactitud dimensional. A diferencia del taladrado, cuyo objetivo principal es generar un agujero inicial, el mandrinado se enfoca en mejorar la calidad del orificio, ajustando su diámetro, rectitud y acabado superficial.

Principios técnicos del mandrinado

El mandrinado se basa en los principios del mecanizado por arranque de viruta, en el que la herramienta de corte elimina pequeñas capas de material de la superficie interna de un orificio. La herramienta de mandrinar, equipada con plaquitas intercambiables de carburo o acero de alta velocidad (HSS), actúa de manera controlada para garantizar la precisión del proceso. Los parámetros de corte, como la velocidad de rotación, el avance y la profundidad de corte, son críticos para lograr un buen resultado.

En términos generales, el proceso de mandrinado se rige por las siguientes ecuaciones fundamentales:

$$V_c = \pi \cdot D \cdot n \quad V_c = \pi \cdot D \cdot n$$

Donde:

- V_c es la velocidad de corte (m/min).
- D es el diámetro de la herramienta o del orificio (mm).
- n es la velocidad de rotación de la herramienta (rpm).

Además, el avance por revolución (f) y la profundidad de corte (a_p) son parámetros clave para determinar la cantidad de material eliminado en cada pasada de la herramienta.

Tipos de mandrinado

Existen diversos tipos de mandrinado según el objetivo y la técnica empleada:

- **Mandrinado de acabado:** Se realiza con herramientas de alta precisión y busca obtener un acabado superficial de alta calidad, con rugosidades que pueden llegar a $R_a < 1,6 \mu\text{m}$.
- **Mandrinado de desbaste:** Se emplea para eliminar grandes volúmenes de material rápidamente, utilizando mayores profundidades de corte y avances más altos.
- **Mandrinado ciego:** Utilizado cuando el orificio no atraviesa completamente la pieza. Requiere un control preciso de la profundidad de corte.
- **Mandrinado pasante:** Adecuado para orificios que atraviesan la pieza de un lado a otro, facilitando la evacuación de virutas.

Cada tipo de mandrinado implica el uso de diferentes tipos de herramientas y ajustes de máquina específicos para optimizar el proceso.

Herramientas de corte en el mandrinado

Las herramientas de mandrinar pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- **Mandrilos fijos:** Ideales para operaciones en serie, ya que permiten un ajuste muy preciso del diámetro de corte mediante tornillos micrométricos.

- **Mandrilos de expansión:** Utilizan un sistema de expansión radial para ajustar el diámetro de corte, lo que facilita su uso en operaciones de acabado.

Las plaquitas de corte intercambiables son generalmente de carburo o cerámica, y se seleccionan en función del material a mecanizar y del tipo de mandrinado. Las geometrías de las plaquitas varían para optimizar el corte, minimizar la generación de calor y facilitar la evacuación de virutas.

Aplicaciones del mandrinado en la industria

El mandrinado se utiliza ampliamente en la fabricación de componentes críticos, como cilindros hidráulicos, carcasas de motores y piezas de precisión en la industria aeronáutica. Su capacidad para garantizar altas tolerancias geométricas y acabados superficiales excepcionales lo convierte en un proceso insustituible en la producción de piezas que requieren un alto grado de exactitud.

En el ámbito de la Formación Profesional, el aprendizaje del proceso de mandrinado permite al alumnado desarrollar competencias técnicas avanzadas, como la capacidad para seleccionar las herramientas adecuadas, ajustar los parámetros de corte y realizar controles de calidad dimensional. Esto se traduce en una mayor empleabilidad de los estudiantes al prepararles para desempeñar funciones clave en talleres de mecanizado y empresas del sector industrial.

De esta manera, el estudio de los principios del mandrinado proporciona una base sólida para profundizar en el conocimiento de las máquinas utilizadas en este proceso, aspecto que se abordará en el siguiente epígrafe.

Máquinas para el mandrinado, tipos, precisiones y limitaciones de las formas obtenibles, estructura y elementos constituyentes de las máquinas

El mandrinado es un proceso de mecanizado que requiere máquinas específicas y bien adaptadas para garantizar la precisión y calidad del acabado interior de los orificios. Las máquinas para el mandrinado se caracterizan por su robustez, precisión y capacidad para operar con herramientas de corte rotativas que permiten realizar operaciones de acabado y ajuste en agujeros previamente perforados o fundidos. Este epígrafe aborda los diferentes tipos de máquinas para el mandrinado, las precisiones y limitaciones de las formas obtenibles, así como la estructura y los elementos constituyentes de estas máquinas.

Tipos de máquinas para el mandrinado

Las máquinas para el mandrinado se pueden clasificar principalmente en:

- **Mandrinadoras horizontales:** Son las más comunes en el sector industrial. Permiten el mecanizado de piezas grandes y pesadas, gracias a su disposición horizontal que facilita el soporte y la sujeción de la pieza. Estas máquinas suelen tener mesas móviles y permiten realizar operaciones complejas como cilindrados y fresados.
- **Mandrinadoras verticales:** Ideales para piezas más pequeñas o cuando se requiere trabajar en posiciones verticales. Este tipo de máquina se asemeja a una fresadora vertical, con la particularidad de que la herramienta de mandrinar se mueve en el eje Z, permitiendo una mayor precisión en el mecanizado.
- **Tornos con cabezal de mandrinado:** Se utilizan principalmente en el mecanizado de piezas cilíndricas. Estos tornos permiten realizar operaciones de mandrinado interno mediante el uso de herramientas específicas acopladas al cabezal del torno.
- **Centros de mecanizado CNC:** Aunque no son mandrinadoras propiamente dichas, permiten realizar operaciones de mandrinado con una gran flexibilidad y precisión. Gracias al control numérico, es posible programar operaciones complejas y repetitivas con un alto grado de automatización.

Precisión y limitaciones de las formas obtenibles

El mandrinado se caracteriza por su alta precisión en el mecanizado de orificios internos. Las tolerancias obtenibles pueden llegar a ser de $\pm 0,01$ mm, dependiendo de la calidad de la herramienta, la rigidez de la máquina y los parámetros de corte. Además, el mandrinado ofrece un excelente acabado superficial, con rugosidades que pueden llegar a ser inferiores a $Ra 1,6 \mu m$ en operaciones de acabado.

Sin embargo, el proceso presenta algunas limitaciones:

- **Formas limitadas:** El mandrinado es adecuado principalmente para formas cilíndricas y cónicas internas. La creación de geometrías complejas o irregulares requiere el uso de herramientas especiales o procesos adicionales.
- **Longitud de los orificios:** Aunque es posible realizar mandrinados profundos, la relación entre la longitud y el diámetro del orificio (L/D) no debe ser excesiva, ya que puede provocar vibraciones, desviaciones y desgaste prematuro de la herramienta.
- **Materiales difíciles de mecanizar:** Algunos materiales de alta dureza o con propiedades específicas, como las aleaciones de titanio o los aceros templados, pueden requerir herramientas especiales y parámetros de corte muy ajustados.

Estructura y elementos constituyentes de las máquinas de mandrinar

Las máquinas para el mandrinado están compuestas por una serie de elementos clave que garantizan su funcionamiento eficiente:

- **Cabezal principal:** Donde se instala la herramienta de corte. Este cabezal permite el giro de la herramienta y, en algunos casos, su desplazamiento axial.
- **Mesa de trabajo:** Superficie donde se fija la pieza a mecanizar. En las mandrinadoras horizontales, la mesa suele ser móvil, permitiendo el movimiento en los ejes X e Y.
- **Sistema de avance:** Permite el desplazamiento controlado de la herramienta dentro del orificio. Puede ser manual o automatizado, especialmente en las máquinas CNC.
- **Husillo principal:** Eje encargado de transmitir el movimiento de rotación a la herramienta de corte. Su diseño debe minimizar las vibraciones y mantener una alta rigidez durante el proceso.
- **Sistemas de sujeción:** Incluyen mordazas, platos giratorios o sistemas magnéticos, dependiendo del tipo de pieza y de la operación a realizar.
- **Sistemas de refrigeración:** El mandrinado genera altas temperaturas debido a la fricción. Por ello, se requiere un sistema de refrigeración eficaz para prolongar la vida útil de la herramienta y mejorar la calidad del acabado superficial.

Aplicaciones y usos de las máquinas de mandrinar

Las máquinas de mandrinar se utilizan en sectores donde se requiere alta precisión en los componentes internos, tales como:

- **Automoción:** En la fabricación de bloques de motor y cilindros hidráulicos.
- **Aeronáutica:** Para la elaboración de componentes estructurales con estrictas tolerancias.
- **Fabricación de maquinaria pesada:** En la producción de piezas grandes, como carcasas y cuerpos de bombas.

En el ámbito de la Formación Profesional, el uso de máquinas de mandrinar permite al alumnado adquirir competencias avanzadas en el manejo de maquinaria industrial, promoviendo habilidades relacionadas con la precisión, la selección de herramientas y la interpretación de planos técnicos.

El conocimiento profundo de las máquinas para el mandrinado sienta las bases para el siguiente epígrafe, donde se abordarán los diferentes utillajes de sujeción de piezas y herramientas, así como los accesorios que complementan el proceso de mandrinado.

Utillajes de sujeción de piezas y herramientas. Accesorios

En el proceso de mandrinado, la correcta sujeción de las piezas y herramientas es un factor determinante para lograr la precisión y el acabado superficial deseados. Los utillajes de sujeción permiten fijar la pieza de trabajo de manera segura y estable, evitando movimientos no deseados que podrían afectar la calidad del mecanizado. Además, los accesorios complementarios facilitan la adaptabilidad y versatilidad de las máquinas de mandrinar, ampliando las posibilidades operativas en el taller.

Utillajes de sujeción de piezas

Los sistemas de sujeción de piezas en el mandrinado deben cumplir con varios requisitos técnicos, tales como estabilidad, rigidez y accesibilidad a las superficies a mecanizar. Entre los principales utillajes de sujeción se encuentran:

- **Mordazas mecánicas:** Utilizadas principalmente en mandrinadoras y fresadoras. Permiten fijar piezas de diferentes tamaños mediante un sistema de tornillo o palanca. Las mordazas suelen estar recubiertas con material antideslizante para mejorar la adherencia.
- **Platos magnéticos:** Especialmente útiles para piezas planas o de geometría irregular. Funcionan mediante un campo magnético que mantiene la pieza en su posición durante el proceso de mecanizado.
- **Mandriles de sujeción:** Comúnmente utilizados en tornos y mandrinadoras. Estos dispositivos permiten centrar y fijar piezas cilíndricas, proporcionando un agarre firme mediante garras ajustables.
- **Sistemas de sujeción por vacío:** Adecuados para materiales delgados o delicados, donde una presión excesiva podría deformar la pieza. Se utilizan principalmente en aplicaciones específicas donde el acceso a todas las caras de la pieza es necesario.
- **Bridas y anclajes:** Permiten fijar piezas grandes o pesadas directamente sobre la mesa de trabajo de la máquina. Se utilizan en combinación con sistemas de ranuras en T y pernos de sujeción.

El uso adecuado de estos utillajes mejora la eficiencia del proceso de mandrinado, permitiendo una mayor repetibilidad y seguridad en las operaciones.

Sujeción de herramientas en el mandrinado

La sujeción de la herramienta de mandrinar es igual de crítica que la de la pieza. Para ello, se utilizan distintos sistemas y portaherramientas:

- **Portamandrilos:** Estos dispositivos permiten un ajuste fino del diámetro de corte mediante tornillos micrométricos, lo que resulta fundamental en operaciones de acabado de alta precisión.

- **Portaherramientas modulares:** Proporcionan flexibilidad para intercambiar rápidamente las herramientas de corte, reduciendo los tiempos muertos en el taller.
- **Mangos cónicos y cilíndricos:** Permiten fijar la herramienta al husillo de la máquina, garantizando una transmisión eficiente de la potencia sin deslizamientos.

Además, es importante considerar el uso de sistemas antivibración, especialmente en operaciones de mandrinado profundo, donde la longitud de la herramienta puede amplificar las vibraciones y afectar negativamente el acabado superficial.

Accesorios para el mandrinado

Los accesorios complementarios amplían las capacidades de las máquinas de mandrinar y mejoran la calidad del proceso:

- **Cabezal divisor:** Permite realizar operaciones de mandrinado en diferentes ángulos o en posiciones específicas, facilitando la mecanización de piezas con geometrías complejas.
- **Lunetas de apoyo:** Soportan la pieza de trabajo durante el mandrinado, reduciendo la flexión y mejorando la estabilidad en piezas largas o delgadas.
- **Refrigerantes y sistemas de lubricación:** Ayudan a mantener la temperatura de la herramienta bajo control, prolongando su vida útil y mejorando el acabado superficial.
- **Dispositivos de medición integrados:** Permiten realizar controles dimensionales directamente en la máquina, asegurando que el proceso de mandrinado cumpla con las especificaciones técnicas sin necesidad de retirar la pieza.

Consideraciones prácticas y metodológicas

En el entorno de la Formación Profesional, el aprendizaje del uso de utillajes y accesorios en el mandrinado permite al alumnado desarrollar competencias clave en el ámbito del mecanizado. Además de la habilidad técnica, se fomenta la capacidad para evaluar la mejor estrategia de sujeción y para seleccionar los accesorios adecuados según cada aplicación práctica.

El uso de simulaciones y prácticas en entornos controlados permite que los estudiantes adquieran experiencia realista en la manipulación de sistemas de sujeción y accesorios, promoviendo un aprendizaje activo y basado en proyectos. Esta metodología, alineada con los principios de la LOMLOE y la Ley Orgánica 3/2022 de Formación Profesional, contribuye a desarrollar habilidades prácticas que mejoran la empleabilidad del alumnado.

A medida que se profundiza en el conocimiento de los utillajes y accesorios en el proceso de mandrinado, se puede vislumbrar la importancia de integrar estos conocimientos técnicos con un enfoque didáctico en el aula, generando un aprendizaje significativo que prepare a los futuros profesionales para enfrentar los desafíos del sector industrial con garantías de éxito.

Conclusión

El mandrinado se establece como un proceso esencial en el ámbito del mecanizado y el mantenimiento de máquinas, proporcionando un alto grado de precisión y acabado superficial en los orificios internos de las piezas. Su aplicación en sectores industriales tan variados como la automoción, la aeronáutica o la maquinaria pesada resalta su importancia técnica y su valor económico en la mejora de la eficiencia productiva. El conocimiento profundo de los principios del mandrinado, las máquinas específicas, los utillajes y accesorios necesarios, permite a los profesionales del sector ejecutar procesos complejos con garantías de calidad y seguridad.

Desde el enfoque de la Formación Profesional, el aprendizaje de las técnicas de mandrinado contribuye significativamente al desarrollo de competencias clave, tales como la precisión técnica, el manejo seguro de maquinaria, la interpretación de planos y la capacidad para realizar ajustes finos en procesos productivos. La LOMLOE y la Ley Orgánica 3/2022 de Ordenación e Integración de la Formación Profesional subrayan la importancia de estas competencias para aumentar la empleabilidad del alumnado, alineando la formación con las necesidades reales del mercado laboral.

Además, el mandrinado ofrece oportunidades para incorporar metodologías activas en el aula, como el aprendizaje basado en proyectos y la simulación práctica. Esto no solo facilita la adquisición de conocimientos técnicos, sino que también promueve habilidades transversales como la resolución de problemas, el trabajo en equipo y la gestión del tiempo. Al aplicar estas metodologías, los estudiantes pueden experimentar de forma directa los desafíos y exigencias del entorno industrial, preparándose mejor para su futura inserción laboral.

En un contexto donde la innovación y la sostenibilidad son cada vez más relevantes, el mandrinado permite optimizar recursos, reducir el desperdicio de materiales y contribuir a procesos productivos más eficientes. Además, su integración con tecnologías avanzadas, como los controles numéricos (CNC), fomenta un enfoque adaptativo y dinámico en la enseñanza de la especialidad de Mecanizado y Mantenimiento de Máquinas.

En definitiva, el dominio del mandrinado y de sus técnicas asociadas fortalece la capacidad de los futuros profesionales para desempeñarse con éxito en la industria, potenciando no solo su potencial de empleabilidad, sino también su contribución activa al desarrollo de un sector industrial más competitivo, seguro y sostenible.

Bibliografía

Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Boletín Oficial del Estado, núm. 340, 30 de diciembre de 2020.

Ley Orgánica 3/2022, de 31 de marzo, de ordenación e integración de la Formación Profesional

Allende del Valle, J. M. (2021). Procesos de gestión del mantenimiento. Ediciones Paraninfo.

Arenas Reina, J. M. (2023). *Oficina técnica de proyectos en ingeniería industrial*. Editorial Universitas.

Cerdá Filiu, L. M. (2018). *Automatismos neumáticos e hidráulicos*. Ediciones Paraninfo.

González Fernández, F. J. (2011). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado* (4.^a ed.). Fundación Confemetal.

Luque Romera, F. J. (2012). *Operaciones básicas y procesos de automatismos de fabricación mecánica*. Marcombo.

Martín Díaz, J. (2017). *Técnicas de unión y montaje*. Marcombo

Peña Carrasco, F., & Fernández García, A. M. (2021). *Sistemas programables avanzados*. Ediciones Paraninfo, S.A.

Sancho Ródenas, J. (2022). *Técnicas de fabricación*. Ediciones Paraninfo.

Romero Carrillo, P. (2018). *Montaje y mantenimiento de líneas automatizadas*. Marcombo.

Fractal. (s.f.). *Guía completa del mantenimiento industrial: estrategias, herramientas y mejores prácticas*. Recuperado de <https://www.fractal.com/es/blog/guia-completa-del-mantenimiento-industrial-estrategias-herramientas-y-mejores-practicas>