

MATERIALES

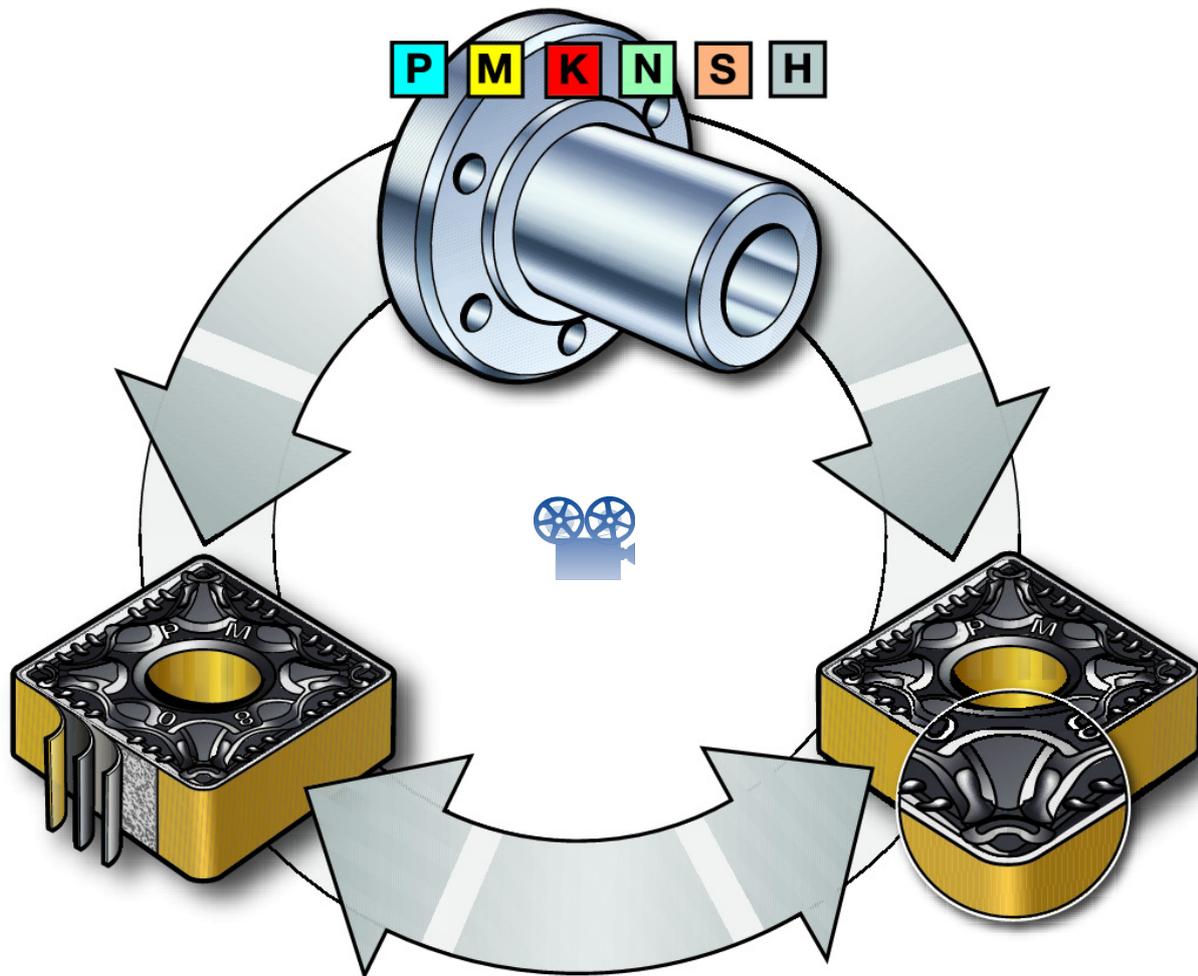
Introducción H 2

Materiales de la herramienta de corte

Introducción y definiciones	H 3
Metal duro con recubrimiento (HC)	H 4
Cermet (HT, HC)	H 7
Cerámica (CA, CN, CC)	H 8
Nitruro de boro cúbico policristalino, CBN (BN)	H 9
Diamante policristalino, PCD (DP)	H 9
Desgaste del filo	H 10
Calidades de Sandvik Coromant	H 11

Materiales de la pieza

Clasificación del material	H 16
Área ISO P, acero	H 18
Área ISO M, acero inoxidable	H 22
Área ISO K, fundición	H 26
Área ISO N, no férreos	H 31
Área ISO S, aleaciones termorresistentes	H 32
Área ISO H, acero templado	H 35
Definición de maquinabilidad	H 36
Lista de referencia de materiales	H 37



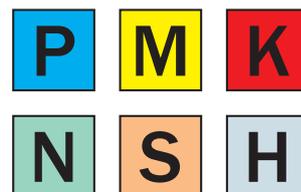
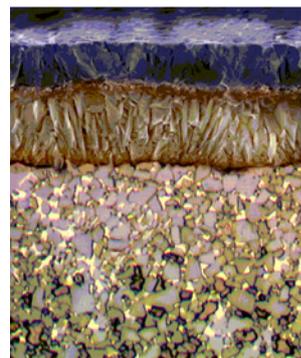
Introducción

Una buena correspondencia del material de la herramienta de corte (calidad) y la geometría de plaquita, con el material de la pieza que se debe mecanizar es muy importante para que el proceso de mecanizado sea productivo y sin contratiempos. Hay otros parámetros, como los datos de corte, el recorrido de la herramienta, etc. que también resultan vitales para obtener un buen resultado.

En este capítulo se incluye información básica sobre:

- Materiales de las herramientas, como metal duro, cerámica, CBN, PCD, etc.
- Materiales de las piezas y su clasificación desde el punto de vista de la maquinabilidad.

Si desea más información sobre el mecanizado de distintos materiales de piezas con distintas herramientas, consulte el apartado Presentación en Torneado general, capítulo A, Tronzado y ranurado, capítulo B, Fresado, capítulo D y Taladrado, capítulo E.



Materiales de la herramienta de corte

La selección de la calidad y el material de la herramienta es un factor importante que se debe tener en cuenta a la hora de planificar una operación de mecanizado productiva.

Por ello es importante un conocimiento básico de cada uno de los materiales de las herramientas y de su rendimiento de cara a realizar la selección correcta para cada aplicación. Se debe tener en cuenta el material de la pieza que se va a mecanizar, el tipo de pieza y su forma, las condiciones de mecanizado y el nivel de calidad superficial que se requiere para cada operación.

El objetivo de este capítulo es ofrecer información adicional sobre cada material de herramienta, sus ventajas y las recomendaciones para utilizarlo en las mejores condiciones. También se ofrece información general sobre la gama completa de calidades de Sandvik Coromant para cada área de aplicación.



Letras que especifican la designación de materiales de corte duros:

Metales duros:

- HW** Metal duro sin recubrimiento compuesto principalmente por carburo de tungsteno (WC).
- HT** Metal duro sin recubrimiento, también denominado cermet, que contiene carburos de titanio (TiC) o nitruros de titanio (TiN) o ambos.
- HC** Metal duro como el anterior pero con recubrimiento.

Cerámicas:

- CA** Cerámica de óxido que contiene principalmente óxido de aluminio (Al_2O_3).
- CM** Cerámica mixta que contiene principalmente óxido de aluminio (Al_2O_3) y también otros componentes.
- CN** Cerámica de nitruro que contiene principalmente nitruro de silicio (Si_3N_4).
- CC** Cerámicas como las anteriores pero con recubrimiento.

Diamante:

- DP** Diamante policristalino ¹⁾

Nitruro de boro:

- BN** Nitruro de boro cúbico ¹⁾

¹⁾ El diamante policristalino y el nitruro de boro cúbico están clasificados como materiales de corte superduros.

Los materiales de la herramienta de corte tienen distintas combinaciones de dureza, tenacidad y resistencia al desgaste, y se dividen en varias calidades con propiedades específicas. En general, el material de herramienta idóneo para una aplicación debe ser:

- Duro, resistente al desgaste en incidencia y a la deformación
- Tenaz, resistente a rotura del núcleo
- No reactivo en contacto con el material de la pieza
- Químicamente estable, resistente a oxidación y difusión
- Resistente a cambios repentinos de temperatura.

Si desea más información sobre los distintos tipos de desgaste, consulte Información general/Índice, capítulo I.

Metal duro con recubrimiento (HC)

El metal duro con recubrimiento supone actualmente el 80-90% de todas las plaquitas para herramientas de corte. El éxito como material de herramienta se debe a su especial combinación de resistencia al desgaste y tenacidad, y a su capacidad para adoptar formas complejas.

El metal duro con recubrimiento combina el metal duro con un recubrimiento. Juntos constituyen una calidad que se puede adaptar a distintas aplicaciones.



Las calidades de metal duro con recubrimiento son la primera elección para una amplia variedad de herramientas y aplicaciones.

Recubrimiento: CVD

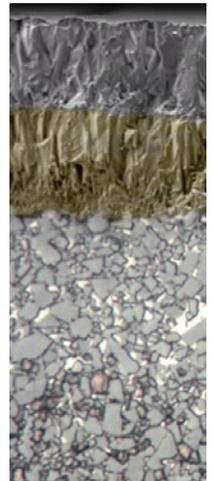
Definición y propiedades

CVD es la abreviatura del inglés Chemical Vapor Deposition, es decir, deposición química en fase de vapor. El recubrimiento CVD se crea mediante reacciones químicas a temperaturas de 700-1.050 °C.

El recubrimiento CVD presenta alta resistencia al desgaste y excelente adherencia al metal duro.

El primer metal duro con recubrimiento CVD fue el recubrimiento de carburo de titanio de una sola capa (TiC). Los recubrimientos de alúmina (Al_2O_3) y de nitruro de titanio (TiN) se introdujeron posteriormente. Más reciente es el desarrollo de los modernos recubrimientos de carbonitruro de titanio (MT-Ti(C,N) o MT-TiCN, también llamado MT-CVD) que mejora las propiedades de la calidad por su capacidad de mantener intacta la adherencia con el metal duro.

Los recubrimientos CVD más modernos combinan MT-Ti(C,N), Al_2O_3 y TiN. Las propiedades del recubrimiento se han mejorado de forma continua en cuanto a adherencia, tenacidad y desgaste mediante optimización microestructural y tratamiento posterior.



MT-Ti(C,N): su dureza aporta resistencia al desgaste por abrasión y menor desgaste en incidencia.

CVD- Al_2O_3 : es químicamente inerte y tiene baja conductividad térmica, por ello es resistente a la formación de cráteres de desgaste. También actúa como barrera térmica para mejorar la resistencia a la deformación plástica.

CVD-TiN: mejora la resistencia al desgaste y se utiliza para detectar el desgaste.

Tratamiento posterior: mejora la tenacidad del filo en cortes intermitentes y reduce la tendencia al empastamiento.

Aplicaciones

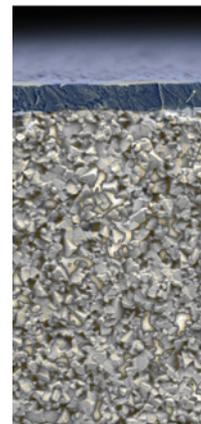
Las calidades con recubrimiento CVD son la primera elección en una amplia gama de aplicaciones en las que resulta importante la resistencia al desgaste. Estas aplicaciones se pueden encontrar en torneado general y mandrinado de acero, con resistencia a la formación de cráteres de desgaste mejorada por el grueso recubrimiento CVD; torneado general de acero inoxidable y para calidades de fresado en ISO P, ISO M, ISO K. Para taladrar, las calidades CVD se suelen utilizar en la plaquita periférica.

Recubrimiento: PVD

Definición y propiedades

Los recubrimientos por deposición física en fase de vapor (PVD, del inglés Physical Vapor Deposition) se forman a temperaturas relativamente bajas (400-600 °C). El proceso implica la evaporación de un metal que reacciona con, por ejemplo, nitrógeno para formar un recubrimiento duro de nitruro en la superficie de la herramienta.

Los recubrimientos PVD aportan resistencia al desgaste a la calidad gracias a su dureza. Su tensión compresiva también añade tenacidad al filo y resistencia a roturas de tipo peine.



Torneado general

B

Tronzado y ranurado

C

Roscado

D

Fresado

E

Taladrado

F

Mandrinado

G

Portaherramientas/
Máquinas

H

Materiales

Información
general/Índice

A continuación se describen los principales componentes del recubrimiento PVD. Los modernos recubrimientos son combinaciones de estos componentes en capas sucesivas y/o recubrimientos laminares. Los últimos presentan varias capas delgadas, de espesor nanométrico, que hacen que el recubrimiento sea aún más duro.

PVD-TiN: el nitruro de titanio fue el primer recubrimiento PVD. Tiene propiedades de aplicación general y color dorado.

PVD-Ti(C,N): el carbón nitruro de titanio es más duro que el TiN y aporta resistencia al desgaste en incidencia.

PVD-(Ti,Al)N: el nitruro de titanio aluminio tiene elevada dureza y resistencia a la oxidación, por ello mejora la resistencia al desgaste global.

Óxido PVD: se utiliza por su estabilidad química y porque mejora la resistencia a formación de cráteres de desgaste.

Aplicaciones

Las calidades con recubrimiento PVD se recomiendan cuando se necesita un filo tenaz y agudo al mismo tiempo, y también para mecanizar materiales pastosos. Estas aplicaciones están muy extendidas e incluyen todas las brocas y fresas enterizas, y la gran mayoría de calidades para ranurar, roscar y fresar. Las calidades con recubrimiento PVD también se utilizan ampliamente para aplicaciones de acabado y como calidad de la plaquita central en taladrado.

Metal duro

Definición y propiedades

El metal duro es un material metalúrgico en polvo; un compuesto de partículas de carburo de tungsteno (WC) y un aglutinante rico en cobalto metálico (Co). Los metales duros para aplicaciones de mecanizado contienen más del 80% de fase WC dura. El carbo nitruro cúbico es otro componente importante, especialmente en calidades de gradiente sinterizado.

El cuerpo de metal duro se forma, bien mediante prensado del polvo o bien mediante técnicas de moldeo por inyección, para luego sinterizarlo hasta la densidad completa.

WC: el tamaño del grano es uno de los parámetros más importantes para ajustar la relación dureza/tenacidad de una calidad; cuanto más fino sea el tamaño del grano, mayor será la dureza con un contenido de fase de aglutinante dado.

La cantidad y composición del **aglutinante rico en Co** controla la tenacidad de la calidad y la resistencia a la deformación plástica. Con el mismo tamaño de grano WC, un incremento en la cantidad de aglutinante conseguirá una calidad más tenaz, que tiene más tendencia al desgaste por deformación plástica. Un contenido de aglutinante demasiado bajo puede provocar que el material sea quebradizo.

Carbonitruro cúbico: también llamado fase- γ , se suele añadir para incrementar la resistencia al calor y para formar gradientes.

Gradientes: se utilizan para combinar la mejora de resistencia a la deformación plástica con tenacidad del filo. El carbo nitruro cúbico concentrado en el filo mejora la resistencia al calor donde más se necesita. Más allá del filo, un aglutinante rico en estructura de carburo de tungsteno inhibe las fisuras y las fracturas por martillado de las virutas.

Aplicaciones

Tamaño del grano WC de medio a grueso

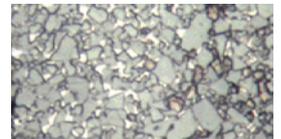
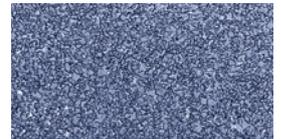
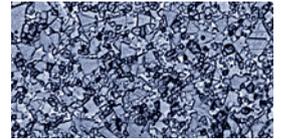
Un tamaño de grano WC entre medio y grueso aporta al metal duro una combinación superior de elevada resistencia al calor y tenacidad. Se utiliza en combinación con recubrimientos CVD o PVD en calidades para todas las áreas.

Tamaño del grano WC fino o inferior a una micra

El tamaño de grano WC fino o inferior a una micra se utiliza para filos agudos con recubrimiento PVD para mejorar aún más la resistencia del filo. También aporta mayor resistencia a cargas cíclicas mecánicas y térmicas. Las aplicaciones típicas son brocas de metal duro, fresas de metal duro, plaquitas para tronzar y ranurar, fresar y calidades para acabado.

Metal duro con gradiente

Las propiedades beneficiosas de los gradientes se aplican combinadas con recubrimientos CVD en muchas calidades de primera elección para torneado, tronzar y ranurar en acero y acero inoxidable.



Metal duro sin recubrimiento (HW)

Definición y propiedades

Las calidades de metal duro sin recubrimiento suponen una parte reducida de la gama total. Estas calidades son directamente WC/Co o bien tienen un gran volumen de carbo nitruro cúbico.



Aplicaciones

Las aplicaciones típicas son mecanizado de HRSA (superaleaciones termorresistentes) o de aleación de titanio y torneado de materiales templados a baja velocidad.

La velocidad de desgaste de las calidades de metal duro sin recubrimiento es rápida pero controlada, con acción autoafilante.

Cermet (CT)

Definición y propiedades

Un cermet es un metal duro con partículas duras de base de titanio. El nombre cermet viene de combinar las palabras cerámica y metal. Originalmente, los cermets eran compuestos de TiC y níquel. Los cermets modernos no contienen níquel y tienen una estructura diseñada con un núcleo de partículas de carbono nitruro de titanio Ti(C,N), una segunda fase dura de (Ti,Nb,W)(C,N) y un aglutinante de cobalto rico en W.

El Ti(C,N) aporta resistencia al desgaste a esta calidad, la segunda fase dura incrementa la resistencia a la deformación plástica y la cantidad de cobalto controla la tenacidad.

Si se compara con el metal duro, el cermet tiene mejor resistencia al desgaste y menor tendencia al empastamiento. Por otro lado, presenta también menos tensión compresiva y menos resistencia a los cambios bruscos de temperatura. Los cermets también pueden llevar recubrimiento PVD para mejorar la resistencia al desgaste.



Torneado general

B

Tronzado y ranurado

C

Roscado

D

Fresado

E

Taladrado

F

Mandrinado

G

Portaherramientas/
Máquinas

H

Materiales

Información
general/Índice

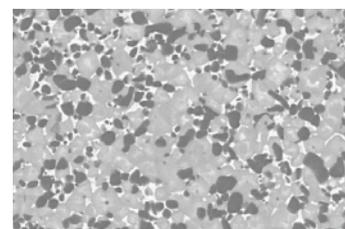
Aplicaciones

Las calidades cermet se utilizan en aplicaciones con empastamiento en las que el filo de aportación resulta problemático. Su patrón de desgaste autoafilante mantiene bajas las fuerzas de corte incluso tras periodos prolongados de mecanizado. En operaciones de acabado, esta característica supone una prolongación de la vida útil de la herramienta y tolerancias estrechas, con resultado de superficies brillantes.

Las aplicaciones típicas son acabado en acero inoxidable, fundición nodular, acero de bajo contenido en carbono y acero ferrítico. Los cermets también se pueden aplicar para resolver problemas en materiales férreos.

Sugerencias:

- Utilice avance y profundidad de corte reducidos.
- Cambie el filo de la plaquita cuando el desgaste en incidencia llegue a 0.3 mm.
- Evite las fisuras y fracturas térmicas mecanizando sin refrigerante.



GC1525 Calidad cermet tenaz con recubrimiento para cortes intermitentes, torneado.

CT5015 Calidad cermet resistente al desgaste para cortes continuos, torneado.

CT530 Calidad de fresado para conseguir superficies brillantes.

CT525 Calidad de tronzado y ranurado para acabado.

Cerámica (CA, CM, CN, CC)

Definición y propiedades

Todas las herramientas de cerámica presentan excelente resistencia al desgaste a velocidades de corte elevadas. Hay varias calidades de cerámica disponibles para distintas aplicaciones.



Cerámica de óxido: base de óxido de aluminio (Al_2O_3), con circonio (ZrO_2) añadido para inhibir fisuras. Esto genera un material que resulta muy estable químicamente, pero que carece de resistencia a los cambios bruscos de temperatura.

(1) **Cerámica mixta:** con refuerzo de partículas mediante adición de carburo o carbo nitruro cúbico (TiC, Ti(C,N)). De esta forma se mejora la tenacidad y la conductividad térmica.

(2) **Cerámica reforzada con filamentos:** utiliza filamentos de carburo de silicio (SiC_w) para incrementar drásticamente la tenacidad y permitir el uso de refrigerante. La cerámica reforzada con filamentos resulta ideal para mecanizar aleaciones con base de Ni.

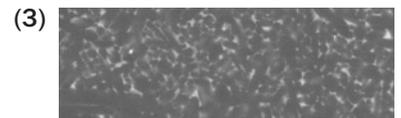
(3) **Cerámica de nitruro de silicio (Si_3N_4):** representa otro grupo de materiales de cerámica. Tiene cristales alargados que forman un material auto reforzado de alta tenacidad. Las calidades de nitruro de silicio son favorables en fundición gris, pero la falta de estabilidad química limita su utilización en otros materiales.

Sialon ($SiAlON$): estas calidades combinan la resistencia de la red auto reforzada de nitruro de silicio con una mejora de la estabilidad química. Las calidades Sialon son ideales para mecanizar superaleaciones termorresistentes (HRSA).

Aplicaciones

Las calidades de cerámica se pueden aplicar en una amplia variedad de aplicaciones y materiales; es más habitual utilizarlas en operaciones de torneado a alta velocidad, pero también se emplean en operaciones de ranurado y fresado. Las propiedades específicas de cada calidad de cerámica ofrecen alta productividad, siempre que se apliquen correctamente. El conocimiento sobre cuándo y cómo se utilizan las calidades de cerámica es fundamental para conseguir un resultado positivo.

Entre las limitaciones generales de las cerámicas se incluyen su resistencia a los cambios bruscos de temperatura y tenacidad de fractura.



- CC620** Cerámica de óxido para acabado a alta velocidad de fundición gris en condiciones estables y sin refrigerante.
- CC6050** Cerámica mixta para acabado ligero, continuo en materiales templados.
- CC650** Cerámica mixta para acabado a alta velocidad de fundición gris y materiales templados, y para operaciones de semiacabado en HRSA con reducida exigencia de tenacidad.
- CC670** Cerámica reforzada con filamentos de excelente tenacidad para torneear, ranurar y fresar aleaciones con base de Ni. También se puede utilizar para torneear piezas duras en condiciones poco favorables.
- CC6190** Calidad de nitruro de silicio para torneear en desbaste y acabado, y fresar sin refrigerante a alta velocidad de fundición, fundición nodular perlítica y fundición endurecida.
- GC1690** Calidad de nitruro de silicio con recubrimiento para desbaste ligero a torneado en acabado de fundición.
- CC6060** Calidad de Sialon para rendimiento optimizado al torneear materiales HRSA premechanizados en condiciones estables. Desgaste homogéneo gracias a su buena resistencia al desgaste en entalladura.
- CC6065** Sialon reforzado con partículas para operaciones de torneado en HRSA que requieran plaquitas tenaces.

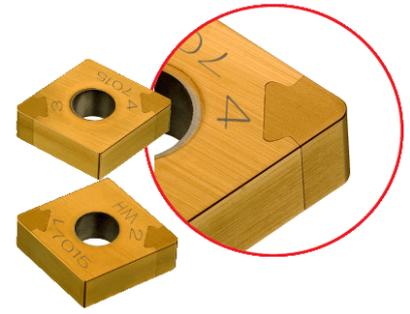
Nitruro de boro cúbico policristalino, CBN (BN)

Definición y propiedades

El nitruro de boro cúbico policristalino, CBN, es un material con excelente resistencia al calor que se puede utilizar a velocidades de corte muy altas. Presenta también buena tenacidad y resistencia a los cambios bruscos de temperatura.

Las modernas calidades CBN son compuestos de cerámica con un contenido de CBN del 40-65%. El aglutinante cerámico aporta resistencia al desgaste al CBN que, en caso contrario, tendría tendencia al desgaste químico. Otro grupo de calidades son las de alto contenido de CBN, desde un 85% hasta casi un 100% de CBN. Estas calidades pueden incorporar aglutinante metálico para mejorar su tenacidad.

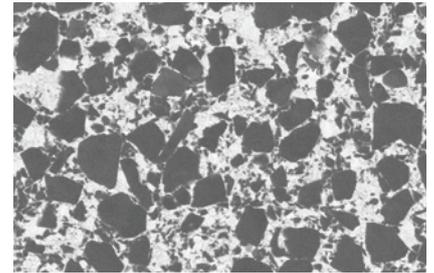
El CBN queda soldado en un portador de metal duro para formar una plaquita. La tecnología Safe-Lok™ mejora aún más la unión de puntas de CBN sobre plaquitas negativas.



Aplicaciones

Las calidades CBN se utilizan ampliamente en torneado en acabado de aceros templados, con una dureza superior a 45 HRc. Por encima de 55 HRc, el CBN es el único material de herramienta que puede sustituir a los métodos tradicionales de rectificado. Los aceros más blandos, por debajo de 45 HRc, contienen mayor cantidad de ferrita, que afecta negativamente a la resistencia al desgaste del CBN.

El CBN también se puede utilizar para desbaste a alta velocidad de fundición gris tanto en operaciones de torneado como de fresado.

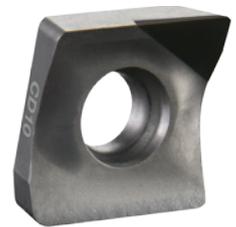


CB7015	Calidad CBN con recubrimiento PVD con aglutinante cerámico para torneado continuo y cortes intermitentes ligeros en aceros templados.
CB7025	Calidad CBN con aglutinante cerámico para cortes intermitentes y alta exigencia de tenacidad para torner aceros templados.
CB7050	Calidad de alto contenido CBN con aglutinante metálico para cortes intermitentes pesados en aceros templados y para acabado de fundición gris. Con recubrimiento PVD.

Diamante policristalino, PCD (DP)

Definición y propiedades

PCD es un compuesto de partículas de diamante sinterizadas junto con un aglutinante metálico. El diamante es el material más duro que existe y, por tanto, el más resistente a la abrasión. Como herramienta de corte, presenta buena resistencia al desgaste pero carece de estabilidad química a alta temperatura y se disuelve con facilidad en hierro.



Aplicaciones

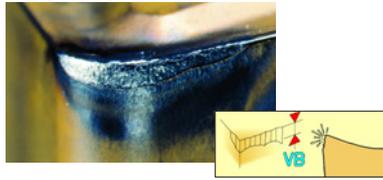
Las herramientas de PCD están limitadas a materiales no féreos, como aluminio de alto contenido de silicio, compuestos con matriz metálica (MMC) y plásticos reforzados con fibra de carbono (CFRP). También es posible utilizar PCD con refrigerante en aplicaciones de superacabado de titanio.

CD10	Calidad PCD para acabado y semiacabado de materiales no féreos y no metálicos en torneado y fresado.
-------------	--

Desgaste del filo

Para comprender las ventajas y limitaciones de cada material, es importante conocer los distintos mecanismos de desgaste a los que se ve sometida la herramienta.

Abrasivo



Desgaste en incidencia

Es el tipo de desgaste más habitual y también el más deseable, ya que ofrece una vida útil de la herramienta homogénea y estable. El desgaste en incidencia se produce por abrasión, causada por los elementos duros del material de la pieza.

Químico



Cráteres de desgaste

La formación de cráteres de desgaste se localiza en el lado de desprendimiento de la plaquita. Se debe a una reacción química entre el material de la pieza y el de la herramienta, y se ve potenciado por la velocidad de corte. Un cráter de desgaste excesivo debilita el filo y puede provocar fracturas.

Adhesivo



Filo de aportación (BUE)

Este tipo de desgaste se produce por soldadura de la viruta en la plaquita, debido a la presión. Resulta más habitual cuando se mecanizan materiales pastosos, como acero de bajo contenido en carbono, acero inoxidable y aluminio. Una velocidad de corte baja incrementa la formación de filo de aportación.

Adhesivo



Desgaste en entalladura

Desgaste de la plaquita caracterizado por un daño excesivo y localizado tanto en la cara de desprendimiento como en el flanco de la plaquita en la línea de profundidad de corte. Está causado por adherencia (soldadura por presión de la viruta en la plaquita) y por superficie endurecida por deformación. Es un tipo de desgaste habitual cuando se mecaniza acero inoxidable y HRSA.

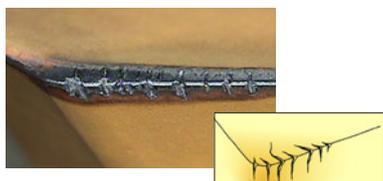
Térmico



Deformación plástica

La deformación plástica se produce cuando el material de la herramienta se ablanda. Esto ocurre si la temperatura de mecanizado es demasiado alta para una determinada calidad. En general, las calidades más duras y los recubrimientos más gruesos mejoran la resistencia al desgaste por deformación plástica.

Térmico



Fisuras térmicas

Si la temperatura del filo cambia rápidamente entre frío y calor, pueden aparecer varias fisuras en dirección perpendicular al filo. Las fisuras térmicas están asociadas a los cortes intermitentes, habituales en operaciones de fresado, y se ven agravadas por el uso de refrigerante.

Mecánico



Astillamiento/rotura del filo

El astillamiento o rotura es el resultado de una sobrecarga de tensión mecánica. Esta tensión puede estar producida por distintas causas, como martillado de virutas, profundidad de corte o avance demasiado elevado, incrustaciones de arena en el material de la pieza, filo de aportación, vibración o desgaste excesivo de la plaquita.

Calidades de Sandvik Coromant

En las tablas de las páginas siguientes se ofrece información general de la gama de calidades de Sandvik Coromant. Contienen datos de las áreas de aplicación junto con notas acerca del material de la herramienta, que están diseñados para facilitar el proceso de selección de la calidad. Las áreas de aplicación se muestran en negrita para las calidades de primera elección y en tipografía normal para indicar una calidad que se puede utilizar como elección complementaria en el área ISO.



Letras que especifican la designación de materiales de corte duro:

Metales duros:

HW Metal duro sin recubrimiento compuesto principalmente por carburo de tungsteno (WC).

HT Metal duro sin recubrimiento, también denominado cermet, que contiene carburos de titanio (TiC) o nitruros de titanio (TiN) o ambos.

HC Metal duro como el anterior pero con recubrimiento.

Cerámicas:

CA Cerámica de óxido que contiene principalmente óxido de aluminio (Al_2O_3).

CM Cerámica mixta que contiene principalmente óxido de aluminio (Al_2O_3) y también otros componentes.

CN Cerámica de nitruro que contiene principalmente nitruro de silicio (Si_3N_4).

CC Cerámicas como las anteriores pero con recubrimiento.

Diamante:

DP Diamante policristalino ¹⁾

Nitruro de boro:

BN Nitruro de boro cúbico ¹⁾

¹⁾ El diamante policristalino y el nitruro de boro cúbico están clasificados como materiales de corte superduros.

Símbolos:

Áreas de aplicación ISO

- P** ISO P = Acero
- M** ISO M = Acero inoxidable
- K** ISO K = Fundición
- N** ISO N = Material no férreo
- S** ISO S = Superalaciones termorresistentes
- H** ISO H = Materiales endurecidos

Tipo de metal duro

- Tamaño del grano WC inferior a una micra (muy fino)
- Tamaño del grano WC fino
- Tamaño del grano medio/grueso
- Calidad de gradiente

Espesor del recubrimiento

- Delgado
- Medio
- Grueso

Calidades para torneado

Calidad	Áreas de aplicación ISO						Material de mecanizado	Tipo de metal duro	Proceso y composición del recubrimiento		Espesor del recubrimiento	Color
	P	M	K	N	S	H						
GC1005		M15		N10	S15		HC	▲	PVD	(Ti,Al)N+TiN	—	
GC1025	P25	M15			S15		HC	▲	PVD	(Ti,Al)N+TiN	—	
GC1105		M15			S15		HC	▲	PVD	(Ti,Al)N	—	
GC1115		M15		N15	S20		HC	●	PVD	Óxido	—	
GC1125	P25	M25		N25	S25		HC	●	PVD	Óxido	—	
GC1515	P25	M20	K25				HC	●	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC2015	P25	M15					HC	■	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC2025	P35	M25					HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC2035		M35					HC	▲	PVD	(Ti,Al)N+TiN	—	
GC235	P45	M40					HC	▲	CVD	Ti(C,N)+TiN	—	
GC3005	P10		K10				HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC3205			K05				HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC3210			K05				HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC3215			K05				HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC4205	P05		K10			H15	HC	■	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC4215	P15		K15			H15	HC	■	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC4225	P25	M15					HC	■	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC4235	P35	M25					HC	■	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
S05F					S05		HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
H10				N15			HW	▲				
H10A					S10		HW	▲				
H10F					S15		HW	▲				
H13A			K20	N15	S15	H20	HW	▲				
GC1525	P15	M10					CT		PVD	Ti(C,N)	—	
CT5015	P10		K05				HT					
CC620			K01				CA					
CC650			K01		S05	H05	CM					
CC6050			K01			H05	CM		PVD	TiN	—	
CC670					S15	H10	CM					
CC6090			K10				CN					
CC6190			K10				CN					
CC6060					S10		CN					
CC6065					S15		CN					
GC1690			K10				CC		CVD	Al ₂ O ₃ +TiN	—	
CB7015						H15	BN		PVD	TiN	—	
CB7025						H20	BN					
CB7050/CB50			K05			H05	BN		PVD	TiN	—	
CB20						H01	BN					
CD10				N05			DP					
GC1810				N10			HC	▲	CVD	Diamante	—	

Calidades para tronzar, ranurar y roscar

Calidad	Áreas de aplicación ISO						Material de mecanizado	Tipo de metal duro	Proceso y composición del recubrimiento	Espesor del recubrimiento	Color
	P	M	K	N	S	H					
Tronzado y ranurado (CoroCut:)											
GC1005		M10		N10	S15		HC	▲	PVD (Ti,Al)N+TiN	—	
GC1025	P25	M25	K30	N25	S25		HC	▲	PVD (Ti,Al)N+TiN	—	
GC1105		M15			S15		HC	▲	PVD (Ti,Al)N	—	
GC1125	P30	M25	K30	N25	S25		HC	●	PVD (Ti,Al)N	—	
GC1145	P45	M40			S40		HC	▲	PVD Óxido	—	
GC2135	P35	M30			S30		HC	▲	CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC2145	P45	M40			S40		HC	▲	PVD (Ti,Al)N	—	
GC235	P45	M35			S30		HC	▲	CVD Ti(C,N)+TiN	—	
GC3020	P15		K15				HC	▲	CVD MT-Ti(C,N)-Al ₂ O ₃	—	
GC3115	P15		K15				HC	▲	CVD MT-Ti(C,N)-Al ₂ O ₃	—	
GC4125	P30	M25	K30		S25		HC	▲	PVD (Ti,Al)N	—	
GC4225	P20		K25				HC	■	CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
S05F					S10		HC	▲	CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
CT525	P10	M10					HT				
H13A		M15	K20	N20	S15		HW	▲			
H10				N10	S30		HW	▲			
CB7015						H15	BN		PVD TiN	—	
CB20						H01	BN				
CC670					S10	H10	CM				
CD10				N01			DP				
CD1810				N10			HC	▲	CVD Diamante	—	
Roscado:											
GC1020	P20	M20	K15	N25	S20	H20	HC	▲	PVD TiN	—	
GC1125	P20	M20	K15		S20	H20	HC	●	PVD (Ti,Al)N	—	
GC4125	P20	M20	K15		S20	H20	HC	▲	PVD (Ti,Al)N	—	
H13A		M25	K20	N25	S25		HW	▲			
CB20						H10	BN				

Calidades para fresar

Calidad	Áreas de aplicación ISO						Material de mecanizado	Tipo de metal duro	Proceso y composición del recubrimiento	Espesor del recubrimiento	Color
	P	M	K	N	S	H					
Plaquitas intercambiables											
GC1010	P10		K10			H10	HC		PVD (Ti,Al)N	—	
GC1020			K20				HC		PVD (Ti,Al)N	—	
GC1025	P10	M15		N15	S15	H15	HC		PVD Ti(C,N)+TiN	—	
GC1030	P30	M15		N15	S15	H10	HC		PVD (Ti,Al)N+TiN	—	
GC2030	P25	M25			S25		HC		PVD (Ti,Al)N+TiN	—	
GC2040	P40	M30			S30		HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC3040	P20		K30			H25	HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃	—	
GC3220			K20				HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC4220	P15		K25			H25	HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC4230	P25	M15	K30				HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC4240	P40	M40	K35				HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
K15W			K15				HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
K20D			K20				HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃	—	
K20W			K25				HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
H13A			K25	N15	S20		HW				
H10				N10			HW				
H10F				N20	S30		HW				
CT530	P20	M20		N15		H15	HT				
CB50			K05			H05	BN				
CC6190			K10				CN				
CD10				N05			DP				
Fresa enteriza											
GC1610						H	HC		PVD (Ti,Al)N	—	
GC1620	P	M	K		S	H	HC		PVD (Ti,Al)N	—	
GC1630	P	M	K		S		HC		PVD (Ti,Al)N	—	
GC1640	P	M	K		S		HC		PVD (Ti,Al)N	—	
H10F				N			HW				

Calidades para taladrar

Calidad	Áreas de aplicación ISO						Material de mecanizado	Tipo de metal duro	Proceso y composición del recubrimiento	Espesor del recubrimiento	Color	
	P	M	K	N	S	H						
Brocas enterizas de metal duro/con punta												
GC1020	P20		K20	N20	S20	H20	HC	▲	PVD	Ti(C,N)+TiN	—	
GC1210	P10		K10				HC	▲	PVD	AlCrN	—	
GC1220	P20	M20	K20	N20	S30	H20	HC	▲	PVD	(Ti,Al)N	—	
K20		M30	K20	N15		K15	HC	▲	PVD	TiN	—	
N20D				N20			HC	▲	PVD	(Ti,Al)N	—	
P20	P20						HC	▲	PVD	TiN	—	
H10F	P25		K25	N20	S25		HW	▲				
Brocas con plaquita intercambiable												
GC1020	P40	M35	K20	N20	S35	H20	HC	▲	PVD	TiN	—	
GC1044	P40	M35	K25	N20	S35	H20	HC	▲	PVD	(Ti,Al)N	—	
GC1120	P40	M35	K20	N20	S35	H20	HC	▲	PVD	Ti(C,N)	—	
GC235	P40	M35					HC	▲	CVD	Ti(C,N)+TiN	—	
GC1144		M35			S35		HC	▲	PVD	Óxido	—	
GC2044		M35			S35		HC	▲	PVD	Óxido	—	
GC3040	P20	M20	K20			H15	HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃	—	
GC4014	P15		K15				HC	■	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃	—	
GC4024	P25	M20	K20			H15	HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃	—	
GC4034	P30	M30	K20				HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC4044	P40	M35	K20	N20	S35	H20	HC	▲	PVD	(Ti,Al)N	—	
H13A		M20	K20	N20	S20		HW	▲				

Materiales de la pieza

P  Acero	M  Acero inoxidable	K  Fundición	N  Aluminio	S  Aleaciones termo-resistentes	H  Acero templado
--	---	--	---	---	---

Grupos de materiales de pieza

La industria del mecanizado produce una variedad extremadamente amplia de piezas mecanizadas a partir de distintos materiales. Cada material presenta características únicas que vienen dadas por los elementos de aleación, el tratamiento térmico, la dureza, etc. Esta combinación ejerce una gran influencia sobre la elección de geometría, calidad y datos de corte de la herramienta.

Por ello, los materiales utilizados para piezas se han dividido en seis grupos principales, según la norma ISO, y cada grupo tiene propiedades únicas en cuanto a maquinabilidad:

- **ISO P** – El acero es el grupo de materiales más grande del área de mecanizado, abarca materiales no aleados y de alta aleación, e incluye acero fundido y aceros inoxidables ferrítico y martensítico. La maquinabilidad suele ser buena, pero puede ser muy distinta según la dureza, contenido de carbono, etc. del material.
- **ISO M** – Los aceros inoxidables son materiales aleados con un mínimo de 12% de cromo; otras aleaciones pueden incluir níquel y molibdeno. Los distintos estados, como ferrítico, martensítico, austenítico y austenítico-ferrítico (dúplex), crean una amplia gama. Un factor común de todos estos tipos es que los filos quedan expuestos a gran cantidad de calor, desgaste en entalladura y filo de aportación.
- **ISO K** – La fundición es, al contrario que el acero, un tipo de material que produce viruta corta. La fundición gris (GCI) y la fundición maleable (MCI) son muy fáciles de mecanizar, mientras que la fundición nodular (NCI), la fundición compactada (CGI) y la fundición austemperizada (ADI) presentan más dificultades. Todas las fundiciones contienen SiC, que resulta muy abrasivo para el filo.
- **ISO N** – Los metales no férricos son más blandos, como aluminio, cobre, latón, etc. El aluminio con un contenido de Si del 13% es muy abrasivo. Por regla general, se puede obtener alta velocidad de corte y prolongada vida útil de la herramienta con plaquitas de filos agudos.
- **ISO S** – Las superaleaciones termorresistentes incluyen un gran número de materiales de alta aleación con base de hierro, níquel, cobalto y titanio. Son pastosos, crean filo de aportación, se endurecen durante el mecanizado (endurecimiento mecánico) y generan calor. Son similares a los del área ISO M pero mucho más difíciles de mecanizar y acortan la vida útil de la herramienta y del filo de la plaquita.
- **ISO H** – Este grupo incluye aceros con una dureza entre 45-65 HRc y también fundición en coquilla de alrededor de 400-600 HB. Esta dureza hace que todos ellos sean difíciles de mecanizar. Los materiales generan calor durante el mecanizado y resultan muy abrasivos para el filo.

Nueva clasificación de materiales, códigos MC

La división de materiales en 6 grupos no ofrece suficiente información para seleccionar correctamente geometría, calidad y datos de corte de la herramienta. Es necesario dividir los grupos de materiales en grupos más pequeños. Sandvik Coromant ha utilizado durante años el denominado sistema de código CMC (clasificación de materiales Coromant) para identificar y describir los materiales de distintos proveedores, normativas y mercados. Con el sistema CMC, los materiales se clasifican según su maquinabilidad y Sandvik Coromant también ofrece herramientas adecuadas y recomendaciones de datos de mecanizado.

Ahora, con objeto de ser aún más específicos en nuestras recomendaciones para ayudar al usuario a mejorar la productividad, hemos creado una nueva clasificación de materiales. Tiene una estructura más detallada, incluye más subgrupos y contiene información separada sobre tipo, contenido de carbono, proceso de fabricación, tratamiento térmico, dureza, etc.

Estructura del código MC

La estructura se ha establecido de manera que el código MC pueda representar distintas propiedades y características de los materiales de la pieza utilizando una combinación de letras y números.

Ejemplo 1:

El código **P1.2.Z.AN**

- **P** es el código ISO para acero
- **1** es el grupo de materiales de acero no aleado
- **2** es el subgrupo de materiales con contenido de carbono $>0,25\% \leq 0,55\%$ C
- **Z** es el proceso de fabricación: forjado/laminado/estirado en frío
- **AN** es el tratamiento térmico, recocido, más los valores de dureza

Ejemplo 2

N1.3.C.AG

- **N** es el código ISO para metales no féreos
- **1** es el grupo de materiales de aluminio
- **3** es el subgrupo aluminio con contenido de Si del 1-13%
- **C** es el proceso de fabricación: fundición
- **AG** para el tratamiento térmico: envejecido

Al describir no solo la composición del material, sino también el proceso de fabricación y el tratamiento térmico, que sin duda influye en las propiedades mecánicas, se consigue una descripción más exacta que se puede utilizar para generar recomendaciones optimizadas de datos de corte.

Fuerza de corte específica

Para el cálculo de potencia, par y fuerza de corte, se utiliza la fuerza de corte específica o k_{c1} . Se puede definir como la fuerza, F_c , en el sentido del corte (consulte la figura), que es necesaria para cortar un área de viruta de 1 mm^2 con un espesor de 1 mm . El valor de k_{c1} es distinto para los seis grupos de materiales y también varía dentro de cada grupo.

El valor de k_{c1} es válido para una plaquita neutra con ángulo de desprendimiento, $\gamma_0 = 0^\circ$; es necesario tener en cuenta otros valores para compensar esto. Por ejemplo, si el ángulo de desprendimiento es más positivo que 0 grados, el valor real de k_c será menor y se calcula con la fórmula siguiente:

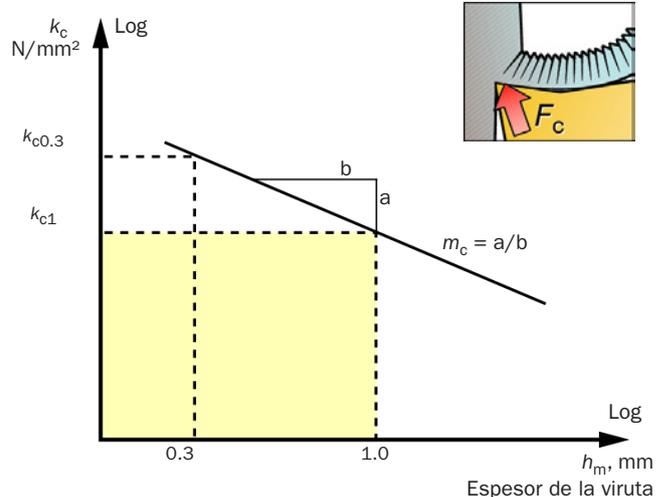
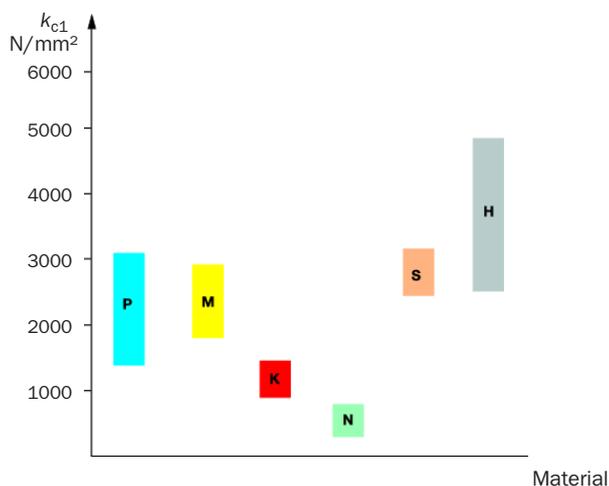
Fuerza de corte específica (k_c)
(N/mm^2)

$$k_c = k_{c1} \times h_m^{-m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right)$$

Si el espesor real de la viruta, h_m , es, por ejemplo, 0.3 mm , el valor de k_c será mayor, consulte el diagrama. Si se define el valor real de k_c , el requisito de potencia se puede calcular según:

Potencia neta requerida (P_c)
(kW)

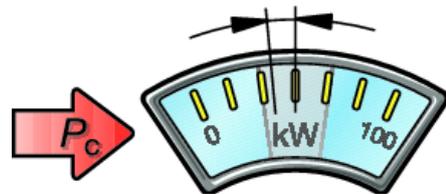
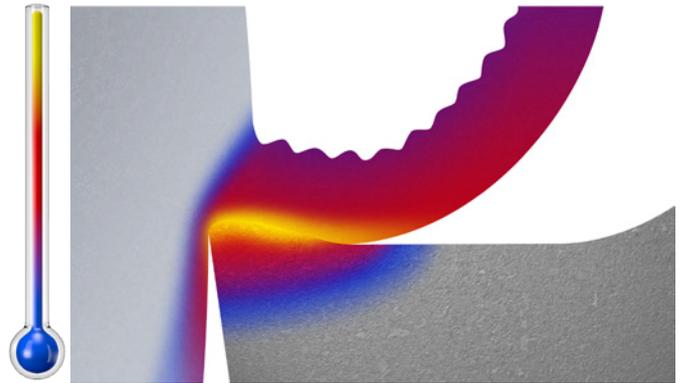
$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6}$$



P Acero

Definición

- El acero es el grupo más amplio de materiales de piezas del área de mecanizado.
- El acero puede ser no templado, o templado y revenido con una dureza común hasta 400 HB. El acero con dureza superior a aprox. 48 HRC y hasta 62-65 HRC pertenece al grupo ISO H.
- El acero es una aleación cuyo componente principal es el hierro (con base de Fe).
- Los aceros no aleados tienen un contenido de carbono inferior al 0.8% y están compuestos sólo de hierro (F_e), sin otros elementos de aleación.
- Los aceros aleados tienen un contenido de carbono inferior al 1.7 % y elementos de aleación como Ni, Cr, Mo, V y W.
- El acero de aleación baja tiene elementos de aleación con contenido inferior al 5%.
- Los aceros de alta aleación tienen más del 5% de elementos de aleación.



Maquinabilidad en general

- La maquinabilidad del acero es distinta según los elementos de cada aleación, el tratamiento térmico y el proceso de fabricación (forja, laminación, fundición, etc.).
- En general, el control de viruta es relativamente sencillo y uniforme.
- El acero de bajo contenido en carbono produce virutas más largas que son pastosas y requiere filos agudos.
- Fuerza de corte específica k_{c1} : 1.400-3.100 N/mm².
- Las fuerzas de corte y la potencia requerida en la máquina permanecen dentro de un margen limitado.

Si desea más información sobre el mecanizado de materiales ISO P consulte Torneado general (página A 22), Fresado (página D 32) y Taladrado (página E 16).

Elementos de aleación

El C influye sobre la dureza (a mayor contenido, mayor desgaste por abrasión). Un bajo contenido en carbono <0.2% incrementa el desgaste por adherencia, que a su vez contribuye al filo de aportación y a mala rotura de la viruta.

Cr, Mo, W, V, Ti, Nb (formadores de metal duro) incrementan el desgaste por abrasión.

El O tiene gran influencia sobre la maquinabilidad: forma incrustaciones no metálicas, oxidantes y abrasivas.

Al, Ti, V, Nb se utilizan como tratamiento de grano fino para acero; hacen que el acero sea más tenaz y más difícil de mecanizar.

P, C, N en la ferrita, reducen la ductilidad y por ello se incrementa el desgaste por adherencia.

Efecto positivo

El Pb en acero de fácil mecanización (con bajo punto de fusión) disminuye la fricción entre viruta y plaquita, reduce el desgaste y mejora la rotura de la viruta.

Ca, Mn (+S) forman sulfuros blandos de efecto lubricante. Un alto contenido de S mejora la maquinabilidad y la rotura de la viruta.

El azufre (S) tiene un efecto beneficioso sobre la maquinabilidad. Pequeñas diferencias, entre un 0.01% y un 0.03% pueden tener efectos sustanciales sobre la maquinabilidad. Este efecto se utiliza en acero de fácil mecanización. Un contenido de azufre del 0.25% es lo más habitual. El azufre forma incrustaciones blandas de sulfuro de manganeso (MnS) que crean una capa lubricante entre la viruta y el filo. El MnS también mejora la rotura de la viruta. El plomo (Pb) tiene un efecto similar y se suele utilizar combinado con S en acero de fácil mecanización a niveles de alrededor del 0.25%.

Códigos MC para acero

Los aceros se clasifican, desde el punto de vista de la maquinabilidad, en no aleados, de baja aleación, de alta aleación y sinterizados.

Código MC	Grupo de materiales	Subgrupo de materiales	Proceso de fabricación	Tratamiento térmico	nom	Fuerza de corte específica, k_{c1} (N/mm ²)	m_c							
P1.1.Z.AN	1	1	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	125 HB	1500	0.25					
P1.1.Z.HT					HT	endurecido+revenido	190 HB	1770	0.25					
P1.2.Z.AN		2	2	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	190 HB	1700	0.25				
P1.2.Z.HT						HT	endurecido+revenido	210 HB	1820	0.25				
P1.3.Z.AN		1	3	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	190 HB	1750	0.25				
P1.3.Z.HT						HT	endurecido+revenido	300 HB	2000	0.25				
P1.4.Z.AN						4	acero de fácil mecanizado	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	220 HB	1180	0.21
P1.5.C.HT						5	cualquier contenido de carbono (fundición)	C	fundición	HT	sin tratar	150 HB	1400	0.25
P1.5.C.AN		5	AN	endurecido+revenido	300 HB	2880				0.25				
P2.1.Z.AN		2	1	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	175 HB	1700	0.25				
P2.2.Z.AN	2										>0.25... ≤0.55% C	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN
P2.3.Z.AN	2		3	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	260 HB	2020	0.25				
P2.4.Z.AN						4	acero de fácil mecanizado	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	225 HB		
P2.5.Z.HT	2		5	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	HT	endurecido+revenido	330 HB	2000	0.25				
P2.6.C.UT						6	cualquier contenido de carbono (fundición)	C	fundición	UT	sin tratar	200 HB	1600	0.25
P2.6.C.HT	6		C	HT	endurecido+revenido	380 HB				3200	0.25			
P3.0.Z.AN	3		0	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	200 HB	1950	0.25				
P3.0.Z.HT		HT				endurecido+revenido	380 HB	3100	0.25					
P3.0.C.UT		0	grupo principal	C	fundición	UT	sin tratar	200 HB	1950	0.25				
P3.0.C.HT						HT	endurecido+revenido	340 HB	3040	0.25				
P3.1.Z.AN						1	HSS	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	250 HB	2360	0.25
P3.2.C.AQ						2	acero al manganeso	C	fundición	AQ	recocido/templado con agua o recocido	300 HB	3000	0.25
P4.0.S.NS	4	aceros sinterizados	0	grupo principal	S	sinterizado	NS	sin especificar	150 HB					

Positivo y negativo

Si, Al, Ca forman incrustaciones de óxido que incrementan el desgaste.

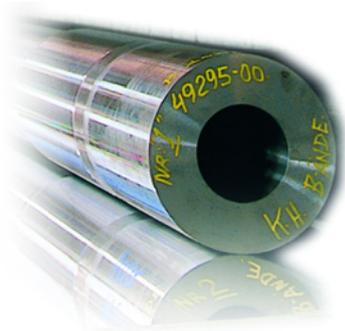
Las incrustaciones en acero tienen gran influencia sobre la maquinabilidad, aunque supongan un porcentaje reducido de la composición total. Esta influencia puede ser a la vez negativa y positiva. Por ejemplo, el aluminio (Al) se utiliza para desoxidar el hierro fundido. Sin embargo, el aluminio forma alúmina (Al₂O₃) abrasiva y dura, que tiene un efecto negativo sobre la maquinabilidad (compare el recubrimiento de alúmina de una plaquita). Este efecto negativo puede, por otro lado, contrarrestarse añadiendo calcio (Ca), que formará una cubierta blanda alrededor de las partículas abrasivas.

- El **acero fundido** tiene una estructura de superficie basta, que puede presentar arena y escoria, y supone una alta exigencia de tenacidad sobre el filo.
- El **acero laminado** presenta un tamaño de grano bastante grande, que hace que la estructura sea irregular y provoque variaciones en las fuerzas de corte.
- El **acero forjado** tiene menor tamaño de grano y una estructura más uniforme, que crea menos problemas al mecanizar.

Acero no aleado: P 1.1-1.5

Definición

En los aceros no aleados, el contenido de carbono suele ser sólo un 0.8%, mientras que los aceros aleados tienen elementos de aleación adicionales. La dureza varía entre 90 y 350 HB. Un mayor contenido de carbono (>0.2%) permite el endurecimiento del material.



Maquinabilidad

Las dificultades de rotura de la viruta y la tendencia al empastamiento (filo de aportación) imponen especial atención a los aceros de bajo contenido en carbono (< 0.25%). Es posible reducir la tendencia al empastamiento con altas velocidades de corte y filos y/o geometrías agudas, con cara de desprendimiento positiva y calidades con recubrimiento delgado. En torneado, se recomienda que la profundidad de corte se mantenga próxima o superior al radio de punta para mejorar la rotura de la viruta. En general, la maquinabilidad es muy buena en los aceros endurecidos, sin embargo, tienen tendencia a generar un desgaste en incidencia bastante grande sobre el filo.

Acero de aleación baja: P 2.1-2.6

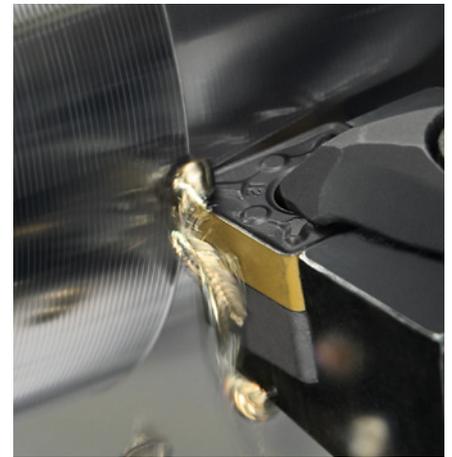
Definición

El acero de aleación baja es el material más común disponible actualmente en mecanizado. En este grupo se incluyen materiales tanto blandos como templados (hasta 50 HRc).



Piezas habituales

Entre los usos predominantes se incluyen: acero para construcción, acero estructural, productos embutidos y estampados, acero para recipientes a presión y distintos aceros fundidos. Entre los usos generales se incluyen: ejes, husillos, tubos, forjados y construcciones soldadas (C<0.25%).



Piezas habituales

Los aceros aleados con Mo- y Cr- para recipientes a presión se utilizan para temperaturas más altas. Entre los usos generales se incluyen: ejes, husillos, acero estructural, tubos y forjados. Ejemplos de piezas para la industria del automóvil: bielas, levas, juntas homocinéticas, cubos de rueda, piñones de dirección.



► Acero de aleación baja: P 2.1-2.6 (cont.)

Maquinabilidad

La maquinabilidad del acero de aleación baja depende del contenido de aleación y del tratamiento térmico (dureza). Para todos los materiales de este grupo, el mecanismo de desgaste más común es la formación de cráteres de desgaste y el desgaste en incidencia.

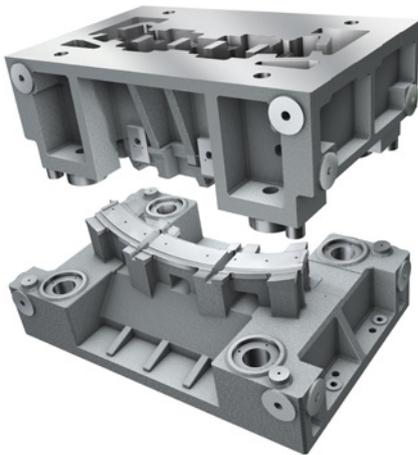
Los materiales endurecidos presentan más calor en la zona de mecanizado y esto puede provocar la deformación plástica del filo.



Acero de alta aleación: P 3.0-3.2

Definición

Entre los aceros de alta aleación se incluyen los aceros al carbono con un contenido total de aleación superior al 5%. En este grupo se incluyen materiales tanto blandos como templados (hasta 50 HRC).

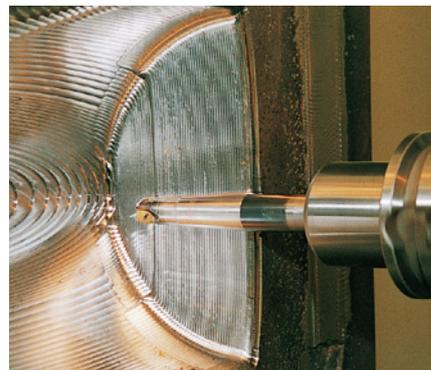


Piezas habituales

Entre los usos típicos de estos aceros se incluye: piezas para máquina-herramienta, matrices, piezas hidráulicas, cilindros y herramientas de mecanizado (HSS).

Maquinabilidad

En general, la maquinabilidad se reduce al incrementarse el contenido de aleación y la dureza. Por ejemplo, con un 12-15% de elementos de aleación y una dureza de 450 HB como máximo, el filo necesita buena resistencia al calor para soportar la deformación plástica.



M Acero inoxidable

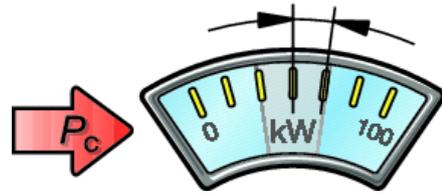
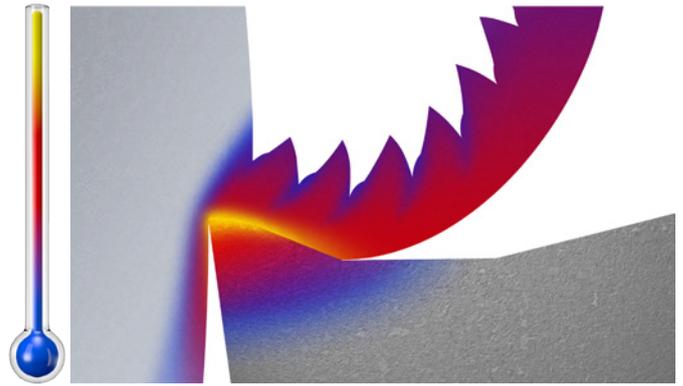
Definición

- Es una aleación en la que el hierro (Fe) es el componente principal.
- Tiene un contenido de cromo superior al 12%
- Suele tener bajo contenido en carbono ($C \leq 0.05 \%$).
- La adición de níquel (Ni), cromo (Cr), molibdeno (Mo), niobio (Nb) y titanio (Ti), aporta distintas características, como resistencia ante la corrosión y ante altas temperaturas.
- El cromo se combina con el oxígeno (O) para crear una capa neutralizadora de Cr_2O_3 sobre la superficie del acero, que confiere propiedades no corrosivas al material.

Maquinabilidad en general

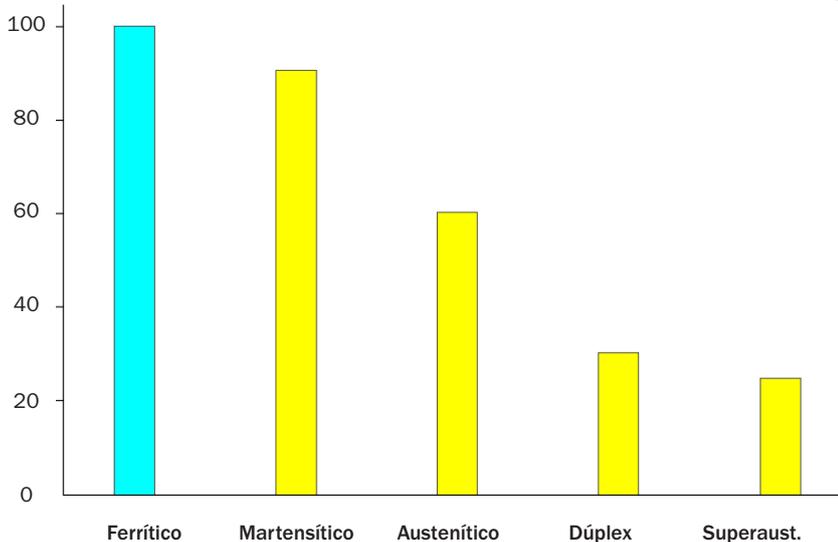
La maquinabilidad del acero inoxidable es distinta según los elementos de cada aleación, el tratamiento térmico y el proceso de fabricación (forja, fundición, etc.). En general, la maquinabilidad se reduce al incrementarse el contenido de aleación pero existen materiales de fácil mecanización o con maquinabilidad optimizada en todos los grupos de aceros inoxidables.

- Material de viruta larga.
- El control de viruta es regular en materiales ferríticos/martensíticos, y resulta más complejo en los tipos austenítico y dúplex.
- Fuerza de corte específica: 1.800-2.850 N/mm².
- El mecanizado crea altas fuerzas de corte, filo de aportación, superficies con endurecimiento térmico y mecánico.
- El mayor contenido de nitrógeno (N) de la estructura austenítica, incrementa la resistencia y aporta algo de resistencia ante la corrosión, pero reduce la maquinabilidad al mismo tiempo que se incrementa el endurecimiento por deformación.
- La adición de azufre (S) se utiliza para mejorar la maquinabilidad.
- Un alto contenido de C (>0.2%) crea un desgaste en incidencia relativamente grande.



- Mo y N reducen la maquinabilidad, sin embargo, aportan resistencia al ataque de ácidos y contribuyen a mejorar la resistencia a las altas temperaturas.
- SANMAC (marca comercial de Sandvik) es un material en el que se ha mejorado la maquinabilidad optimizando el volumen de sulfuros y óxidos sin sacrificar la resistencia a la corrosión.

Maquinabilidad relativa (%)

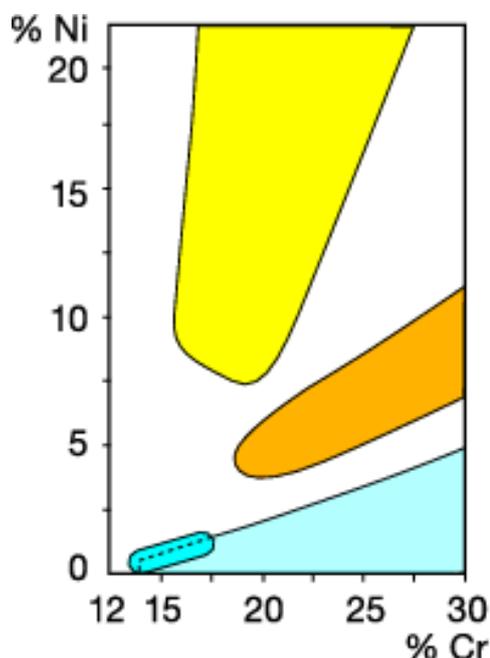


Si desea más información sobre el mecanizado de materiales ISO M, consulte Torneado general (página A 25), Fresado (página D 34) y Taladrado (página E 16).

Códigos MC para acero inoxidable

Código MC	Grupo de materiales	Subgrupo de materiales	Proceso de fabricación	Tratamiento térmico	nom	Fuerza de corte específica, k_{c1} (N/mm ²)	m_c	
P5.0.Z.AN	5	0 grupo principal	Z forjado/laminado/estirado en frío	AN recocido	200 HB	1800	0.21	
P5.0.Z.HT				HT endurecido+revenido	330 HB	2300	0.21	
P5.0.Z.PH				PH templado por precipitación	330 HB	2800	0.21	
P5.0.C.UT			0	C fundición	UT sin tratar	250 HB	1900	0.25
P5.0.C.HT					HT endurecido+revenido	330 HB	2100	0.25
P5.1.Z.AN	5	1 acero de fácil mecanizado	Z forjado/laminado/estirado en frío	AN recocido	200 HB	1650	0.21	
M1.0.Z.AQ	1	0 grupo principal	Z forjado/laminado/estirado en frío	AQ recocido/templado con agua o recocido	200 HB	2000	0.21	
M1.0.Z.PH				PH templado por precipitación	300 HB	2400	0.21	
M1.0.C.UT			C fundición	UT sin tratar	200 HB	1800	0.25	
M1.1.Z.AQ		1	1 maquinabilidad mejorada (como SANMAC)	Z forjado/laminado/estirado en frío	AQ	200 HB	2000	0.21
M1.1.Z.AQ			2 acero de fácil mecanizado		AQ	200 HB	1800	0.21
M1.3.Z.AQ			3 estabilizado Ti	Z	AQ	200 HB	1800	0.21
M1.3.C.AQ				C fundición	AQ	200 HB	1800	0.25
M2.0.Z.AQ	2	0 grupo principal	Z forjado/laminado/estirado en frío	AQ	200 HB	2300	0.21	
M2.0.C.AQ			C fundición	AQ	200 HB	2150	0.25	
M3.1.Z.AQ	3	1 >60% ferrita (regla práctica N<0.10%)	Z forjado/laminado/estirado en frío	AQ	230 HB	2000	0.21	
M3.1.C.AQ			C fundición	AQ	230 HB	1800	0.25	
M3.2.Z.AQ		2 <60% ferrita (regla práctica N≥0.10%)	Z forjado/laminado/estirado en frío	AQ	260 HB	2400	0.21	
M3.2.C.AQ			C fundición	AQ	260 HB	2200	0.25	

Identificación del grupo de materiales



La microestructura del acero inoxidable depende sobre todo de su composición química, en la que los principales componentes de aleación, cromo (Cr) y níquel (Ni) son fundamentales, consulte el diagrama. En la realidad, la variación puede ser amplia debido a la influencia de otros componentes de aleación que compiten para estabilizar la austenita o la ferrita. La estructura también puede verse alterada por el tratamiento térmico o, en algunos casos, por el trabajo en frío. El acero inoxidable austenítico o ferrítico templado por precipitación tiene mayor resistencia a la tracción.

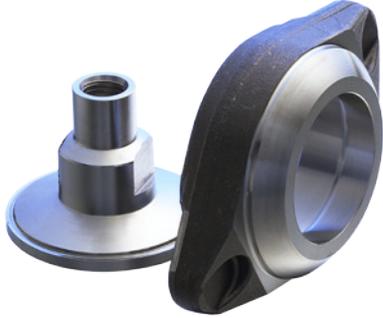
- Acero austenítico
- Acero austenítico-ferrítico (dúplex)
- Acero cromo ferrítico
- Acero cromo martensítico

Acero inoxidable ferrítico y martensítico: P5.0-5.1

Definición

Desde el punto de vista de la maquinabilidad, los aceros inoxidables ferrítico y martensítico están clasificados como ISO P. El contenido normal de Cr es 12-18%. Sólo presenta pequeñas aportaciones de otros elementos de aleación.

Los aceros inoxidables martensíticos tienen un contenido de carbono relativamente alto, que permite que puedan ser templados. Los aceros ferríticos tienen propiedades magnéticas. La soldabilidad es baja para los ferríticos y martensíticos, y tienen media y baja resistencia a la corrosión, que se incrementa cuanto mayor sea el contenido de Cr.



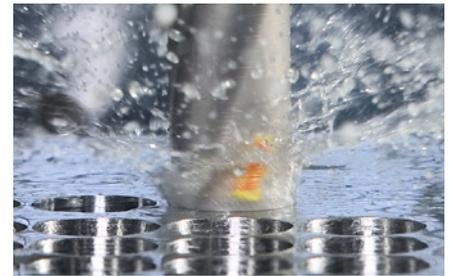
Piezas habituales

A menudo se utilizan en aplicaciones que plantean exigencias limitadas de resistencia a la corrosión. El material ferrítico tiene un coste relativamente bajo por su limitado contenido de Ni. Ejemplos de aplicaciones: ejes para bombas, turbinas de vapor y de agua, tuercas, pernos, calentadores de agua, industrias de procesamiento de alimentos y pulpa.

Los aceros martensíticos se pueden templar y se utilizan para filos de cuchillería, hojas de afeitar, instrumentos quirúrgicos, etc.

Maquinabilidad

En general, la maquinabilidad es buena y muy similar a la del acero de aleación baja, por ello se clasifica como material ISO P. Un alto contenido de carbono (>0.2%) permite el endurecimiento del material. El mecanizado creará cráteres y desgaste de flanco con algo de filo de aportación. Las calidades y geometrías ISO P ofrecen buen rendimiento.



Acero inoxidable austenítico y superaustenítico: M1.0-2.0

Definición

Los aceros austeníticos forman el grupo principal de aceros inoxidables; la composición más habitual es 18% Cr y 8% Ni (por ejemplo, aceros 18/8, tipo 304). Se consigue un acero con mejor resistencia a la corrosión añadiendo un 2-3% de molibdeno, que se suele denominar "acero a prueba de ácidos": (tipo 316). En el grupo MC también se incluyen los aceros inoxidables superausteníticos con un contenido de Ni superior al 20%. Los aceros austeníticos templados por precipitación (PH) tienen estructura austenítica en estado de solución con tratamiento térmico, y un contenido de Cr >16% y de Ni >7%, con aprox. 1% de aluminio (Al). Un acero templado por precipitación típico es el acero 17/7 PH.



Piezas habituales

Se utiliza en piezas en las que se requiere buena resistencia a la corrosión. Muy buena soldabilidad y buenas propiedades a alta temperatura. Entre sus aplicaciones se incluyen: industrias químicas y de procesamiento de alimentos y pulpa, colectores de escape para aeronaves. Buenas propiedades mecánicas mejoradas por trabajo en frío.



► Acero inoxidable austenítico y superaustenítico: M1.0-2.0 (cont.)

Maquinabilidad

El endurecimiento mecánico produce superficies y virutas duras, que a su vez provocan desgaste en entalladura. También crean adherencia y filo de aportación (BUE). Tiene una maquinabilidad del 60%. El estado de endurecimiento puede rasgar el material de recubrimiento y el sustrato a partir del filo, que provoca astillamiento y acabado superficial deficiente. La austenita produce virutas largas, continuas y tenaces, que resultan difíciles de romper. Al añadir S se mejora la maquinabilidad, pero se reduce la resistencia a la corrosión.

Utilice filos agudos con geometría positiva. Se debe mecanizar por debajo de la capa con endurecimiento mecánico. Mantenga la profundidad de corte constante. Se genera mucho calor durante el mecanizado.

Acero inoxidable dúplex: M 3.41-3.42

Definición

Cuando se añade Ni a un acero inoxidable ferrítico con base de Cr, se forma una estructura/matriz de base mixta que contiene tanto ferrita como austenita. Esto se denomina acero inoxidable dúplex. Los materiales dúplex presentan alta resistencia a la tracción y mantienen una resistencia a la corrosión muy elevada. Las designaciones superdúplex e hyperdúplex indican mayor contenido de elementos de aleación e incluso mejor resistencia a la corrosión. Un contenido de Cr entre 18 y 28%, y de Ni entre 4 y 7% es común en los aceros dúplex y producirá una cuota ferrítica de 25-80%. Las fases de ferrita y austenita se suelen presentar a temperatura ambiente en un 50-50% respectivamente. Las marcas de SANDVIK más habituales son SAF 2205, SAF 2507.



Piezas habituales

Se utiliza en máquinas para la industria química, de alimentación, construcción, medicina, celulosa y fabricación de papel, y en procesos que incluyan ácidos o cloro. A menudo se utiliza para equipos relacionados con la industria petrolífera y de gas en mar abierto.

Maquinabilidad

La maquinabilidad relativa suele ser deficiente, 30%, debido al alto rendimiento y elevada resistencia a la tracción. Un mayor contenido de ferrita, superior al 60%, mejora la maquinabilidad. Al mecanizar se producen virutas resistentes, que pueden provocar martillado de las mismas y crear fuerzas de corte elevadas. Se genera mucho calor durante el mecanizado y esto puede provocar deformación plástica y un excesivo desgaste en cráter.

Es preferible un ángulo de posición pequeño para evitar el desgaste de muesca y la formación de rebabas. La estabilidad de la sujeción de herramienta y pieza es fundamental.



K Fundición

Definición

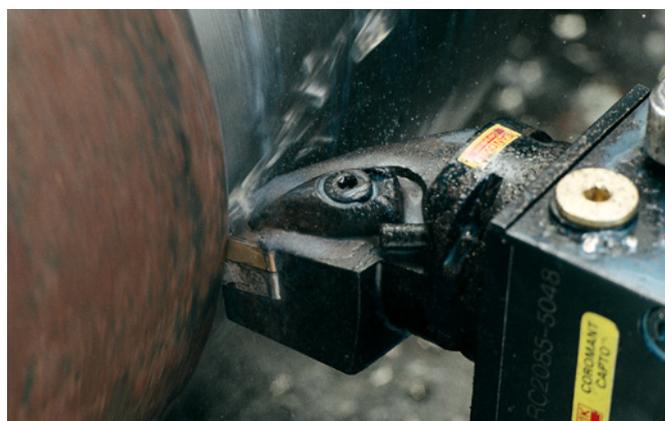
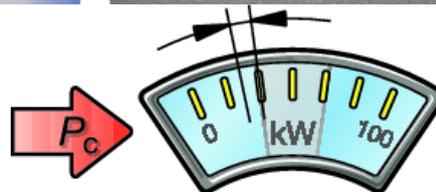
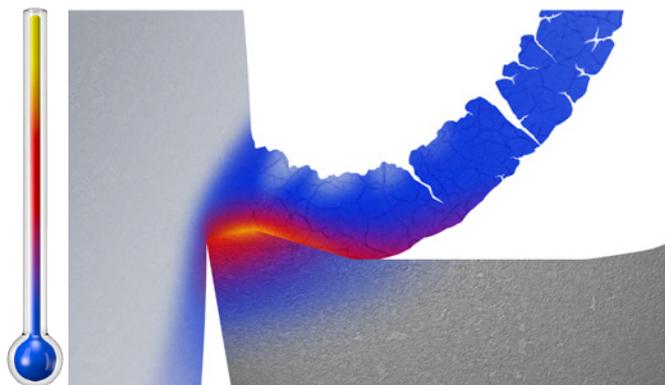
Hay 5 tipos principales de fundición:

- Fundición gris (GCI),
- Fundición maleable (MCI),
- Fundición nodular (NCI),
- Fundición de grafito compactado (CGI)
- Fundición dúctil austemperizada (ADI).

Se denomina fundición a un compuesto de Fe-C con un porcentaje relativamente alto de Si (1-3%). El contenido de carbono es superior al 2%, que es la máxima solubilidad del C en la fase austenítica. Cr (cromo), Mo (molibdeno) y V (vanadio) forman carburos, que incrementan resistencia y dureza, pero reducen la maquinabilidad.

Maquinabilidad en general

- Material de viruta corta con buen control de la misma en la mayor parte de condiciones. Fuerza de corte específica: 790 – 1350 N/mm².
- Al mecanizar a velocidades superiores, especialmente en fundición con incrustaciones de arena, se crea desgaste por abrasión.
- Las fundiciones NCI, CGI y ADI requieren atención extra debido a sus distintas propiedades mecánicas y a la presencia de grafito en la matriz, si se comparan con una GCI normal.
- La fundición se suele mecanizar con plaquitas de tipo negativo, ya que presentan filos robustos y aplicaciones seguras.
- Los sustratos de metal duro deben ser duros y el recubrimiento debe ser grueso y de tipo óxido de aluminio para que tenga buena resistencia al desgaste por abrasión.
- La fundición se suele mecanizar sin refrigerante, pero también se puede utilizar lubricante, sobre todo para mantener al mínimo la contaminación del polvo de carbono y hierro. También hay calidades disponibles que se adaptan a aplicaciones con suministro de refrigerante.



Si desea más información sobre el mecanizado de materiales ISO K, consulte Torneado general (página A 28), Fresado (página D 36) y Taladrado (página E 16).

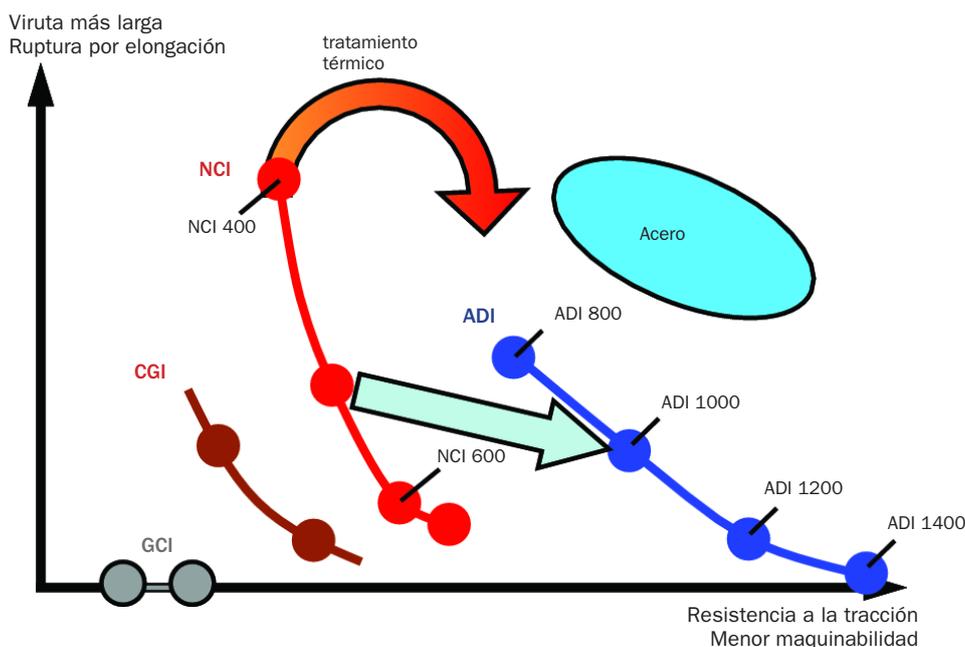
Influencia de la dureza

- La influencia de la dureza en la maquinabilidad de fundición sigue las mismas reglas que para el resto de materiales.
- Por ejemplo, la ADI (fundición dúctil austemperizada) y la CGI (fundición de grafito compactado), y también la NCI (fundición nodular), tienen durezas inferiores a 300-400 HB. Las fundiciones MCI y GCI presentan un valor medio de 200-250 HB.
- La fundición blanca puede alcanzar una dureza superior a 500 HB con tasas de enfriamiento rápido donde el carbono reacciona con el hierro para formar carburo Fe₃C (cementita), en lugar de quedar presente en forma de carbono libre. La fundición blanca es muy abrasiva y difícil de mecanizar.

Códigos MC para fundición

Desde el punto de vista de la maquinabilidad, las fundiciones se clasifican en: maleables, grises, nodulares, de grafito compactado (CGI) y dúctiles austemperizadas (ADI). Algunas de las durezas más altas se pueden encontrar en las fundiciones nodulares y en las ADI.

Código MC	Grupo de materiales		Subgrupo de materiales	Proceso de fabricación		Tratamiento térmico		nom	Fuerza de corte específica, k_{c1} (N/mm ²)	m_c	
K1.1.C.NS	1	maleable	1	baja resist. a la tracción	C	fundición	NS	sin especificar	200 HB	780	0.28
K1.2.C.NS	1		2	alta resist. a la tracción	C		NS		260 HB	1020	0.28
K2.1.C.UT	2	gris	1	baja resist. a la tracción	C	fundición	UT	sin tratar	180 HB	900	0.28
K2.2.C.UT	2		2	alta resist. a la tracción	C		UT		245 HB	1100	0.28
K2.3.C.UT	2		3	austenítico	C		UT		175 HB	1300	0.28
K3.1.C.UT	3	nodular	1	ferrítico	C	fundición	UT	sin tratar	155 HB	870	0.28
K3.2.C.UT	3		2	ferrítico/perlítico	C		UT		215 HB	1200	0.28
K3.3.C.UT	3		3	perlítico	C		UT		265 HB	1440	0.28
K3.4.C.UT	3		4	martensítico	C		UT		330 HB	1650	0.28
K3.5.C.UT	3		5	austenítico	C		UT		190 HB		
K4.1.C.UT	4	CGI	1	baja resist. a la tracción (perlita <90%)	C	fundición	UT	sin tratar	160 HB	680	0.43
K4.2.C.UT	4		2	alta resist. a la tracción (perlita ≥90%)	C		UT		230 HB	750	0.41
K5.1.C.NS	5	ADI	1	baja resist. a la tracción	C	fundición	NS	sin especificar	300 HB		
K5.2.C.NS	5		2	alta resist. a la tracción	C		NS		400 HB		
K5.3.C.NS	5		3	muy alta resist. a la tracción	C		NS		460 HB		



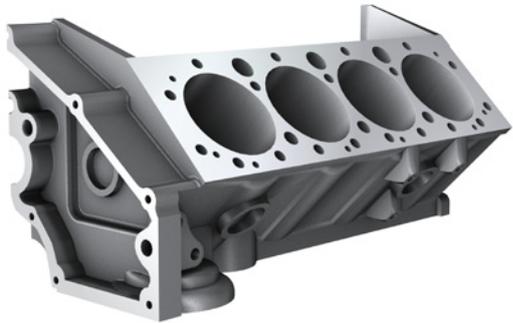
El tratamiento térmico de austemperización convierte la fundición dúctil (NCI), en fundición dúctil austemperizada (ADI).

Fundición maleable (MCI) K 1.1-1.2 y fundición gris (GCI) K 2.1-2.3

Definición

La **fundición maleable** se produce a partir de una matriz de fundición casi blanca que se somete a tratamiento térmico en dos pasos, con los que se consigue una estructura de ferrita+perlita+carbono revenido, que da lugar a granos de grafito irregulares, si se compara con la estructura laminar con más tendencia a fracturas de la fundición gris. Esto implica que el material maleable es menos sensible a las fisuras y se valora mejor porque tiene mayor resistencia y ruptura por elongación.

La **fundición gris** contiene grafito en forma típica de copos y sus características principales son: baja resistencia al impacto (comportamiento quebradizo); buena conductividad térmica, menos calor durante el funcionamiento del motor y menos calor en el proceso de mecanizado; buenas propiedades antivibratorias, absorbe la vibración del motor.



Piezas habituales

Entre las piezas fabricadas a partir de material MCI se incluyen: rodamientos para ejes, ruedas de guía, uniones de tuberías y engranajes de alta resistencia.

Entre las piezas fabricadas a partir de material GCI se incluyen: sartenes, bloques de motor, cilindros para compresores, engranajes y cajas de cambio.

Maquinabilidad

La **fundición maleable** tiene una resistencia a la tracción superior a la de la GCI y recuerda a la NCI por su maquinabilidad, pero ambas suelen tener excelentes propiedades de mecanizado. En general, la fundición con estructura perlítica incrementa el desgaste por abrasión, mientras que la estructura ferrítica incrementa el desgaste por adherencia.

La **fundición gris** tiene baja resistencia al impacto, genera fuerzas de corte bajas y la maquinabilidad es muy buena. El desgaste se produce en el proceso de mecanizado solamente por abrasión; no se produce desgaste químico. La fundición gris se suele alea con Cr con objeto de mejorar sus propiedades mecánicas. Esta resistencia superior produce una reducción de la maquinabilidad.

Fundición nodular (NCI) K 3.1-3.5

Definición

La **fundición nodular** contiene grafito de forma esférica y sus características principales son: buena rigidez (módulo de Young); buena resistencia al impacto = material tenaz, no quebradizo; buena resistencia a la tracción; mala amortiguación, no absorbe la vibración de un motor; mala conductividad térmica, más calor en el proceso de mecanizado. Si se compara con la GCI, el grafito de la NCI aparece formando nódulos y esto contribuye a sus superiores propiedades de tracción y tenacidad.



► Fundición nodular (NCI) K 3.1-3.5 (cont.)



Piezas habituales

Bujes, tubos, rodillos, colectores de escape, cigüeñales, carcasas de diferencial, tapas de cojinete, platinas, carcasas de turbocompresor, discos de embrague y volantes.

Las carcasas de turbocompresor y los colectores de escape se suelen fabricar con fundición aleada con SiMo, que tiene más resistencia térmica.

Maquinabilidad

La fundición nodular presenta una fuerte tendencia a formar filo de aportación. Esta tendencia es más fuerte en los materiales de NCI más blandos, con mayor contenido ferrítico. Al mecanizar piezas con alto contenido ferrítico y con cortes intermitentes, el mecanismo de desgaste que predomina es el desgaste por adherencia. Esto puede producir problemas de formación de escamas en el recubrimiento.

El problema de adherencia es menos pronunciado con los materiales de NCI más duros, que tienen mayor contenido perlítico. Aquí es más probable que se produzca desgaste por abrasión y/o deformación plástica.



Fundición de grafito compactado (CGI) K 4.1-4.2

Definición

La fundición CGI es un material que puede hacer frente a demandas crecientes de resistencia y reducción de peso, mientras mantiene una maquinabilidad razonable. Las características térmicas y antivibratorias de la CGI se encuentran entre la NCI y la GCI. La resistencia a la fatiga duplica la de la fundición gris. Las partículas de grafito de la CGI son alargadas y están orientadas al azar, como en la fundición gris, pero son más cortas, más gruesas y tienen los bordes redondeados. La morfología coralina de la CGI, junto con el borde redondeado y la superficie irregular de las partículas de grafito, produce una fuerte adherencia entre el grafito y la matriz de fundición. Esta es la causa de la importante mejora de propiedades mecánicas de la CGI, respecto a la fundición gris. La fundición CGI con un contenido perlítico inferior al 90% es la más habitual.

► Fundición de grafito compactado (CGI) K 4.1-4.2 (cont.)



Piezas habituales

La fundición CGI es muy adecuada para fabricación de motores, donde se necesitan materiales más ligeros y resistentes que puedan absorber más potencia. Sólo el peso del bloque de motor se puede reducir aprox. un 20% respecto a uno fabricado con fundición GCI. Otros ejemplos son culatas de cilindros y frenos de disco.

Maquinabilidad

Desde el punto de vista de la maquinabilidad, la fundición de grafito compactado se encuentra entre la fundición gris y la fundición nodular. Presenta dos o tres veces más resistencia a la tracción que la fundición gris y menor conductividad térmica, el mecanizado de la fundición CGI genera mayores fuerzas de corte y más calor en la zona de corte. Un mayor contenido de titanio en el material CGI influye negativamente sobre la vida útil de la herramienta.

Las operaciones de mecanizado más habituales son planeado y mandrinado de cilindros. En lugar de mandrinado de cilindros, se puede utilizar el método de fresado circular, que puede mejorar tanto la vida útil de la herramienta como la productividad.

Fundición dúctil austemperizada (ADI) K 5.1- 5.3

Definición

La fundición dúctil austemperizada constituye una familia de fundiciones con tratamiento térmico. El tratamiento térmico de austemperización convierte la fundición dúctil en fundición dúctil austemperizada (ADI), que presenta características excelentes de resistencia, tenacidad y fatiga. La fundición ADI es más resistente por unidad de peso que el aluminio y es tan resistente al desgaste como el acero. Los valores de resistencia a la tracción y a la fluencia son el doble que los de la fundición dúctil estándar. La resistencia a la fatiga es un 50% superior y se puede mejorar mediante chorreado con granalla o laminado.



Piezas habituales

Las fundiciones ADI están desplazando cada vez más al acero forjado y a la fundición, productos soldados, acero carburizado y aluminio, debido a su rendimiento superior. Su uso más habitual es en la industria del automóvil, donde se utiliza para suspensiones, transmisiones, etc. También se emplea en el sector energético, minería y construcción.

Maquinabilidad

Es habitual una reducción del 40-50% en la vida útil de la herramienta si se compara con la fundición NCI. La resistencia a la tracción y la ductilidad de la fundición ADI son similares a las del acero, pero el proceso de formación de viruta clasifica la ADI como fundición dúctil (formación de viruta segmentada).

La microdureza de la fundición ADI es superior, si se compara con aceros de similar dureza. Las calidades más altas de ADI contienen partículas duras en la microestructura. Las altas cargas térmicas y mecánicas, debidas a su alta resistencia y ductilidad, concentrarán el desgaste cerca del filo debido al proceso de formación de viruta segmentada y en el desprendimiento superior. El endurecimiento durante la formación de viruta produce altas fuerzas de corte dinámicas. La temperatura del filo es un factor importante para determinar el desgaste.

N Materiales no férreos

Definición

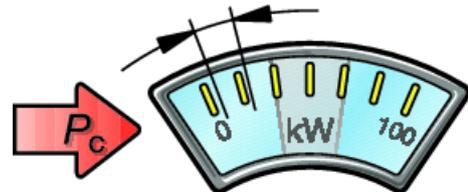
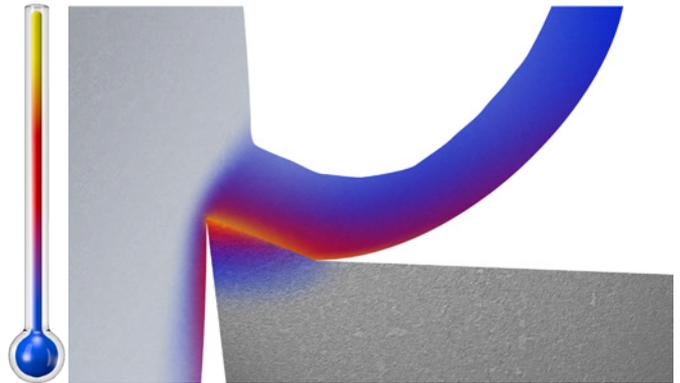
- Este grupo contiene metales blandos no férreos, con dureza inferior a 130 HB, excepto los bronce de alta resistencia (>225HB)
- Las aleaciones de aluminio (Al) con menos de un 12-13% de silicio (Si) representan la parte más amplia
- MMC (compuestos con matriz metálica): Al + SiC (20-30%)
- Aleaciones con base de magnesio
- Cobre, cobre electrolítico con 99.95% Cu
- Bronce: cobre con Tin (Sn) (10-14%) y/o aluminio (3-10%)
- Latón: cobre (60-85%) con zinc (Zn) (40-15%)

Maquinabilidad del aluminio

- Material de viruta larga
- Control de viruta relativamente fácil, si está aleado
- El Al puro es pastoso y requiere filos agudos y valores altos de v_c
- Fuerza de corte específica: 350-700 N/mm²
- Las fuerzas de corte y la potencia requerida en la máquina son bajas.
- El material se puede mecanizar con calidades de metal duro sin recubrimiento y grano fino si el contenido de Si es inferior al 7-8%, y con calidades de punta PCD para aluminio con mayor contenido de Si.
- El Al hipereutéctico con contenido de Si > 12% es muy abrasivo.

Piezas habituales

Bloques de motor, culatas de cilindro, cajas de transmisión, carcasas, estructuras aeroespaciales.



Si desea más información sobre el mecanizado de materiales ISO N, consulte Torneado general (página A 39), Tronzado y ranurado (página B 10), Fresado (página D 38) y Taladrado (página E 17).

Códigos MC para materiales N

Código MC	Grupo de materiales	Subgrupo de materiales	Proceso de fabricación	Tratamiento térmico	nom	Fuerza de corte específica, k_{c1} (N/mm ²)	m_c					
N1.1.Z.UT	1	aleaciones con base de aluminio	1	comercial puro	Z	UT	sin tratar	30 HB	350	0.25		
N1.2.Z.UT			2	aleaciones AISi, Si ≤1%	Z	fundición	UT	sin tratar	60 HB	400	0.25	
N1.2.Z.AG			2		Z		AG	envejecido	100 HB	650	0.25	
N1.2.S.UT			2	S	sinterizado	UT	sin tratar	75 HB	410	0.25		
N1.2.C.NS			2	C	fundición	NS	sin especificar	80 HB	410	0.25		
N1.3.C.UT			3	aleaciones de fundición AISi, Si ≤1% y <13%		UT	sin tratar	75 HB	600	0.25		
N1.3.C.AG			3	AG		envejecido	90 HB	700	0.25			
N1.4.C.NS			4	aleaciones de fundición AISi, Si ≥13%		C	NS	sin especificar	130 HB	700	0.25	
N2.0.C.UT			2	aleaciones con base de magnesio	0	grupo principal	C	fundición	UT	sin tratar	70 HB	
N3.1.U.UT			3	aleaciones con base de cobre	1	aleaciones de cobre sin plomo (incl. cobre electrolítico)	U	sin especificar	UT	sin tratar	100 HB	1350
N3.2C.UT	2	latón y bronce al plomo (Pb ≤1%)			C	fundición	UT	sin tratar	90 HB	550	0.25	
N3.3.S.UT	2	S			sinterizado	UT	sin tratar	35 HB				
N3.3.U.UT	3	aleaciones de fácil mecanizado con base de cobre (Pb >1%)			U	sin especificar	UT	sin tratar	110 HB	550	0.25	
N3.4.C.UT	3	4			bronce de alta resistencia (>225HB)	C	fundición	UT	sin tratar	300 HB		
N4.0.C.UT	4	aleaciones con base de zinc	0	grupo principal	C	fundición	UT	sin tratar	70 HB			

S Superaleaciones termorresistentes (HRSA) y titanio

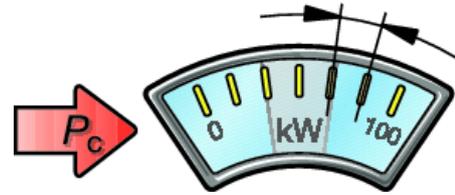
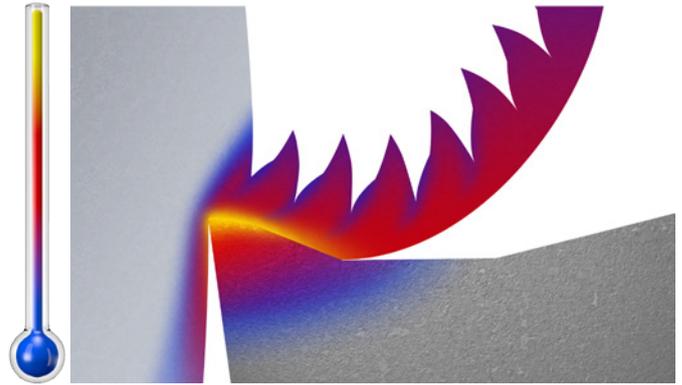
Definición

- El grupo ISO S se puede dividir en superaleaciones termorresistentes (HRSA) y titanio.
- Los materiales HRSA se pueden dividir a su vez en tres grupos: aleaciones con base de níquel, de hierro y de cobalto.
- Condición: recocido, solución con tratamiento térmico, envejecido, laminado, forjado, fundición
- Propiedades: mayor contenido de aleación (más Co que Ni), ofrece mejor resistencia térmica, incrementa la resistencia a la tracción y a la corrosión

Maquinabilidad en general

- Las propiedades físicas y comportamiento de mecanizado de cada aleación varía considerablemente, debido tanto a la naturaleza química de la aleación como al procesamiento metalúrgico concreto que recibe durante su fabricación.
- Recocido y envejecido tienen gran influencia sobre las posteriores propiedades de mecanizado.
- Control de viruta difícil (viruta segmentada)
- Fuerza de corte específica: 2.400-3.100 N/mm² para HRSA y 1.300-1.400 N/mm² para titanio
- Las fuerzas de corte y la potencia requerida son altas

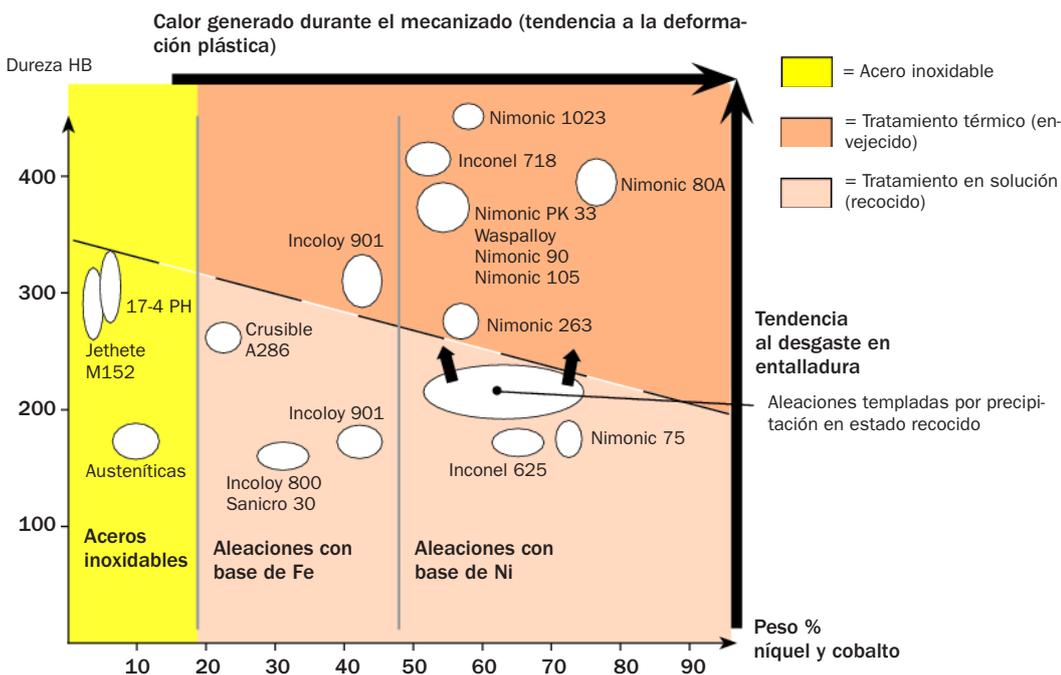
Si desea más información sobre el mecanizado de materiales ISO S, consulte Torneado general (página A 30), Tronzado y ranurado (página B 9), Fresado (página D 39) y Taladrado (página E 17).



Envejecimiento

Para conseguir mayor resistencia, las aleaciones termorresistentes se pueden "templar por precipitación".

Al tratar el material a alta temperatura (es decir, tratamiento por envejecimiento) se precipitan pequeñas partículas intermetálicas en la aleación. Estas partículas impedirán el desplazamiento en la estructura cristalina y, como resultado, el material será más difícil de deformar.



Códigos MC para materiales S

Desde el punto de vista de la maquinabilidad, los aceros HRSA se clasifican en materiales con base de hierro, de níquel y de cobalto. El titanio se divide en comercial puro, aleaciones alfa y aleaciones casi alfa, aleaciones alfa/beta y aleaciones beta.

Código MC	Grupo de materiales	Subgrupo de materiales	Proceso de fabricación	Tratamiento térmico	nom	Fuerza de corte específica, k_{c1} (N/mm ²)	m_c
S1.0.U.AN	1 aleaciones sin base	1 grupo principal	U sin especificar	AN recocido	200 HB	2400	0.25
S1.0.U.AG				AG envejecido	280 HB	2500	0.25
S2.0.Z.AN	2 aleaciones con base de níquel	0 grupo principal	Z forjado/laminado/estirado en frío	AN recocido	250 HB	2650	0.25
S2.0.Z.AG				AG envejecido	350 HB	2900	0.25
S2.0.Z.UT				UT sin tratar	275 HB	2750	0.25
S2.0.C.NS				C fundición	NS sin especificar	320 HB	3000
S3.0.Z.AN	3 aleaciones con base de cobalto	0 grupo principal	Z forjado/laminado/estirado en frío	AN recocido	200 HB	2700	0.25
S3.0.Z.AG				AG envejecido	300 HB	3000	0.25
S3.0.C.NS				C fundición	NS sin especificar	320 HB	3100
S4.1.Z.UT	4 aleaciones con base de titanio	1 comercial puro (>99.5% Ti)	Z	UT sin tratar	200 HB	1300	0.23
S4.2.Z.AN		2 aleaciones alfa y casi alfa	Z	AN recocido	320 HB	1400	
S4.3.Z.AN		3 aleaciones alfa/beta	Z forjado/laminado/estirado en frío	AN	330 HB	1400	
S4.3.Z.AG				AG envejecido	375 HB	1400	
S4.4.Z.AN		4 aleaciones beta	Z	AN recocido	330 HB	1400	
S4.4.Z.AG				AG envejecido	410 HB	1400	
S5.0.U.NS	3 base de tungsteno	0 grupo principal	U sin especificar	NS sin especificar	120 HB		
S6.0.U.NS	3 base de molibdeno	0 grupo principal	U sin especificar	NS sin especificar	200 HB		

Materiales HRSA: S 1.0-3.0

Definición

Materiales con alta resistencia a la corrosión que mantienen su dureza y resistencia a mayores temperaturas. El material se utiliza hasta 1000°C y está endurecido mediante un proceso de envejecimiento.

- **La versión con base de níquel** es la que más se utiliza: supone más del 50% del peso del motor de una aeronave. Entre los materiales templados por precipitación se incluyen: Inconel 718, 706 Waspalloy, Udimet 720. Los reforzados en solución (no endurecibles) incluyen: Inconel 625.
- **El material con base de hierro** es desarrollado a partir de los aceros inoxidable austeníticos y presenta las propiedades de resistencia térmica más deficientes: Inconel 909 Greek Ascolloy y A286.

- **Los materiales con base de cobalto** presentan el mejor rendimiento y resistencia a la corrosión en caliente, y se utilizan principalmente en medicina: Haynes 25 (Co49Cr20W15Ni10), Stellite 21, 31.
- **Principales elementos de aleación** en materiales HRSA. Ni: incrementa la resistencia a la tracción. Co, Mo, W: incrementan la resistencia a alta temperatura. Cr, Si, Mn: mejoran la resistencia a la corrosión. C: incrementa el tamaño del grano



Piezas habituales

Motores aeroespaciales y turbinas de gas. Industria petrolífera y de gas en mar abierto. Implantes de articulaciones. Aplicaciones con alta resistencia a la corrosión.

► Materiales HRSA: S 1.0-3.0 (cont.)

Maquinabilidad

La maquinabilidad de los materiales HRSA incrementa su dificultad según la secuencia siguiente: materiales con base de hierro, materiales con base de níquel y materiales con base de cobalto. Todos los materiales tienen alta resistencia a alta temperatura y producen viruta segmentada durante el mecanizado, que crea altas fuerzas de corte dinámicas.

Deficiente conductividad térmica y alta dureza generan altas temperaturas durante el mecanizado. Las propiedades de alta resistencia, endurecimiento mecánico y endurecimiento por adherencia crean desgaste en entalladura a la máxima profundidad de corte y un entorno extremadamente abrasivo para el filo.

Las calidades de metal duro deberían ofrecer buena tenacidad del filo y buena adherencia del recubrimiento sobre el sustrato

para conseguir buena resistencia a la deformación plástica. En general, se deben utilizar plaquitas con ángulo de posición grande (plaquitas redondas) y se debe seleccionar una geometría de plaquita positiva. En torneado y fresado se pueden utilizar calidades de cerámica, según la aplicación.

Titanio: S 4.1-4.4

Definición

Las aleaciones de titanio se pueden dividir en cuatro clases, en función de la estructura y de los elementos de aleación presentes.

- Titanio sin tratar, comercialmente puro.
- Aleaciones alfa, con adición de Al, O y/o N.
- Aleaciones beta, con adición de Mb, Fe, V, Cr y/o Mn.
- Aleaciones mixtas $\alpha+\beta$, en las que está presente una mezcla de los dos casos anteriores.

Las aleaciones mixtas $\alpha+\beta$, de tipo Ti-6Al-4V, suponen la mayor parte de las aleaciones de titanio que se utilizan en la actualidad, sobre todo en el sector aeroespacial, pero también en aplicaciones de propósito general. El titanio tiene alta relación entre resistencia y peso, con excelente resistencia a la corrosión y una densidad del 60% respecto al acero. Esto permite diseñar piezas de paredes más delgadas.



Piezas habituales

El titanio se puede utilizar en ambientes muy difíciles, que podrían ocasionar ataques por corrosión considerables en la mayor parte de materiales de construcción. De evitarlo se encarga el óxido de titanio, TiO_2 , que es muy resistente y cubre la superficie en una capa de aprox. 0.01 mm de grueso. Si la capa de óxido se daña y hay oxígeno disponible, el titanio reconstruye el óxido de inmediato. Es adecuado para intercambiadores de calor, equipos desaladores, piezas de motores de propulsión a chorro, trenes de aterrizaje, estructuras aeroespaciales.

Maquinabilidad

La maquinabilidad de las aleaciones de titanio es mala si se compara con el acero en general o con el acero inoxidable, y esto impone determinadas exigencias en las herramientas de corte. El titanio tiene poca conductividad térmica; mantiene la resistencia a alta temperatura, por lo que se generan altas fuerzas de corte y calor en el filo. Virutas delgadas, muy recortadas, con tendencia a la corrosión por rozamiento que crean un área de contacto estrecha en la cara de desprendimiento y generan fuerzas de corte concentradas en la proximidad del filo. Una velocidad de corte demasiado alta produce una reacción química entre la viruta y el material de la herramienta, que puede derivar en rotura/astillamiento de la plaquita. El material de la herramienta de corte debe tener buena resistencia al calor, bajo contenido de cobalto y no reaccionar con el titanio. Se suele utilizar metal duro de grano fino sin recubrimiento. Seleccione una geometría positiva/abierta con buena tenacidad del filo.

H Acero templado

Definición

- Este grupo de materiales incluye aceros templados y revenidos con dureza >45 – 68 HRC.
- Entre los aceros comunes se incluye el acero carburizado (~60 HRC), el acero para cojinetes de bolas (~60 HRC) y el acero para herramientas (~68 HRC). Entre los tipos de fundición endurecida se incluye la blanca (~50 HRC) y la fundición ADI/Kymenite (~40 HRC). El acero para construcción (40 – 45 HRC), el acero al Mn y los distintos tipos de recubrimientos duros, es decir, estelita, acero P/M y el metal duro también pertenecen a este grupo.
- El torneado de piezas duras habitual se sitúa dentro de la gama 55 – 68 HRC.

Maquinabilidad

- El acero templado es el grupo más reducido desde el punto de vista del mecanizado y el acabado es la operación de mecanizado más habitual. Fuerza de corte específica: 2550 – 4870 N/mm². Esta operación suele producir un control de viruta regular. Las fuerzas de corte y la potencia requerida son bastante altas.
- El material de la herramienta debe tener buena resistencia a la deformación plástica (resistencia al calor), estabilidad química (a alta temperatura), resistencia mecánica y resistencia al desgaste por abrasión. El CBN tiene estas características y permite tornearse en lugar de rectificarse.
- También se utiliza cerámica mixta o reforzada con filamentos para tornearse, cuando la pieza tiene exigencias moderadas de acabado superficial y la dureza es demasiado alta para el metal duro.
- El metal duro domina en aplicaciones de fresado y taladrado, y se utiliza hasta aprox. 60 HRC.

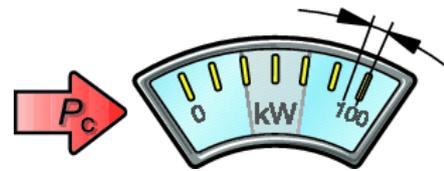
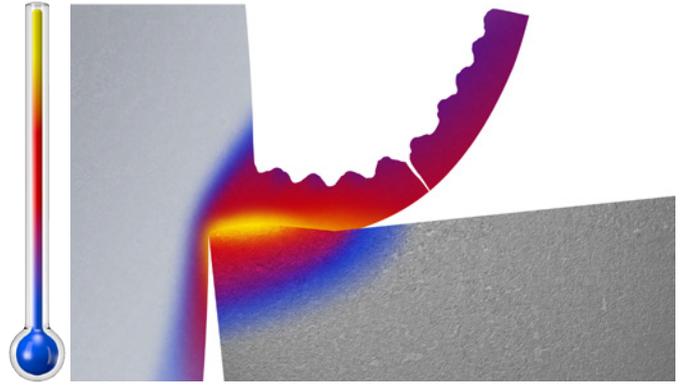
Piezas habituales

Algunas piezas típicas son: ejes de transmisión, carcasas de cajas de cambios, piñones de dirección, matrices de estampación.

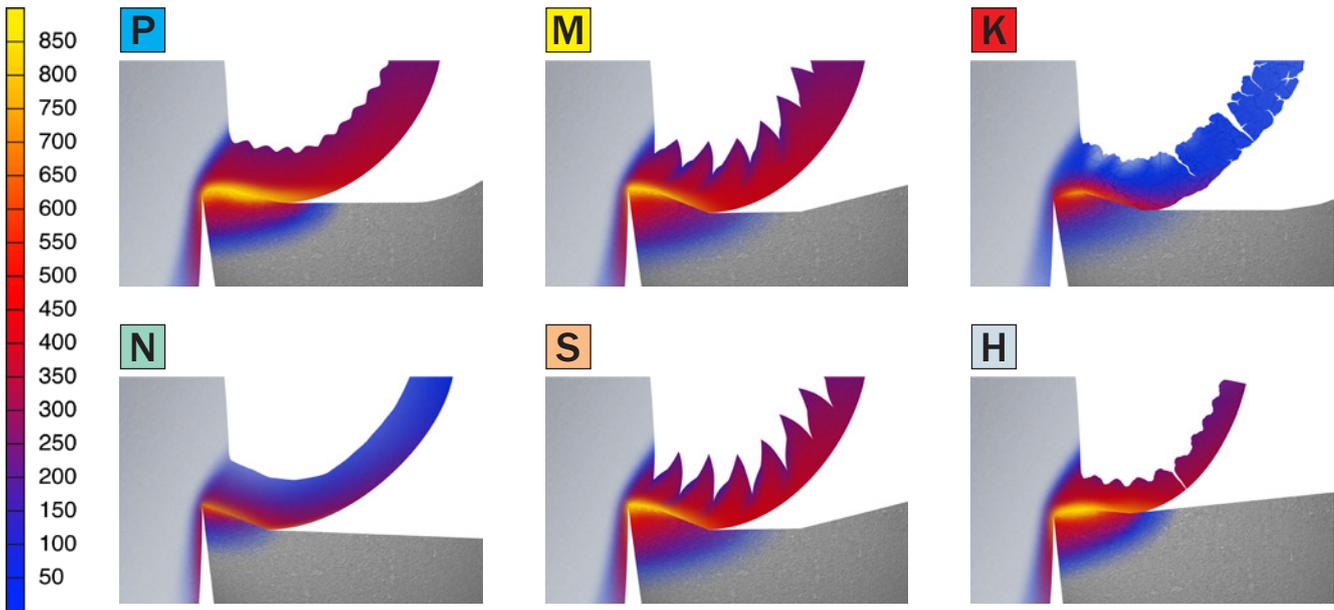
Si desea más información sobre el mecanizado de materiales ISO H, consulte Torneado general (página A 40), Tronzado y ranurado (página B 9), Fresado (página D 41) y Taladrado (página E 17).

Códigos MC para acero templado

Código MC	Grupo de materiales	Subgrupo de materiales	Proceso de fabricación	Tratamiento térmico	nom	Fuerza de corte específica, k_{c1} (N/mm ²)	m_c				
H1.1.Z.HA	1	1	Nivel de dureza 50	Z	forjado/laminado/ estirado en frío	HA	endurecido (+revenido)	50 HRC	3090	0.25	
H1.2.Z.HA		2	Nivel de dureza 55	Z				55 HRC	3690	0.25	
H1.3.Z.HA		3	Nivel de dureza 60	Z				60 HRC	4330	0.25	
H1.4.Z.HA		4	Nivel de dureza 63	Z				63 HRC	4750	0.25	
H2.0.C.UT	2	fundición en coquilla	0	grupo principal	C	fundición	UT	sin tratar	55 HRC	3450	0.28
H3.0.C.UT	3	fundición en coquilla	0	grupo principal	C	fundición	UT	sin especificar	40 HRC		
H4.0.S.AN	4	fundición en coquilla	0	grupo principal	S	sinterizado	AN	recocido	67 HRC		



Maquinabilidad: definición



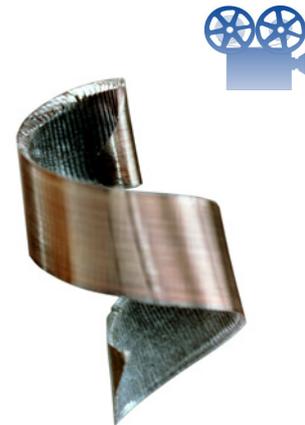
Sección de una plaqueta de metal duro durante el mecanizado de acero. Temperatura en grados Celsius.

Se suelen identificar tres factores principales para determinar la maquinabilidad de un material, es decir, su capacidad de ser mecanizados.

1. Clasificación del material de la pieza desde el punto de vista metalúrgico/mecánico.
2. La geometría del filo que se vaya a utilizar, a nivel micro y macro.
3. El material de la herramienta de corte (calidad) con sus constituyentes adecuados, por ejemplo, metal duro con recubrimiento, cerámica, CBN o PCD, etc.

Estas selecciones ejercerán gran influencia sobre la maquinabilidad del material. Otros factores son: datos de corte, fuerzas de corte, tratamiento térmico del material, costra superficial, incrustaciones metalúrgicas, portaherramientas y condiciones generales de mecanizado, etc.

La maquinabilidad no tiene una definición directa, como las calidades o los números. En sentido amplio, incluye la capacidad del material de la pieza para ser mecanizado, el desgaste que crea en el filo y la formación de viruta que se puede obtener. Según esto, un acero con bajo contenido de carbono es más fácil de mecanizar que los aceros inoxidables austeníticos, más exigentes. Se suele considerar que el acero de aleación baja tiene mejor maquinabilidad que el acero inoxidable. El concepto "buena maquinabilidad", suele ser sinónimo de una acción de corte sin problemas y una vida útil de la herramienta regular. La mayor parte de las evaluaciones de la maquinabilidad de un cierto material se realizan utilizando ensayos prácticos y los resultados se determinan por relación con otros ensayos realizados en otro tipo de material bajo condiciones similares. En estos ensayos se tendrán en cuenta otros factores, como microestructura, tendencia al empastamiento, máquina-herramienta, estabilidad, ruido, vida útil de la herramienta, etc.



Lista de referencia de materiales

ISO	MC	CMC	País											
			Europa	Alemania	Reino Unido	Suecia	EE.UU.	Francia	Italia	España	Japón			
			Estándar											
			DIN EN	N.º W.	BS	EN	SS	SAE/ASTM	AFNOR	UNI	UNE	JIS		
P	Acero no aleado													
	P1.1.Z.AN	01.1	S235JR G2	1.0038		4360 40 C	1311	A570.36	E 242 Ne			STKM 12A:C		
	P1.1.Z.AN	01.1	S235J2 G3	1.0116		4360 40 B	1312	A573-81 65	E 24U	Fe37-3				
	P1.1.Z.AN	01.1	C15	1.0401		080M15	1350	1015	CC12	C15C16	F.111			
	P1.1.Z.AN	01.1	C22	1.0402		050A20	2C/2D	1450	CC20	C20C21	F.112			
	P1.1.Z.AN	01.1	C15E	1.1141		080M15	32C	1370	1015	XC12	C16	C15K	S15C	
	P1.1.Z.AN	01.1	C25E	1.1158					1025				S25C	
	P1.1.Z.AN	01.1	S380N	1.8900		4360 55 E		2145	A572-60		FeE390KG			
	P1.1.Z.AN	01.1	17MnV7	1.0870		4360 55 E		2142	A572-60	NFA 35-501 E 36				
	P1.1.Z.AN	02.1	55Si7	1.0904		250A53		2085	9255	55S7	55S8	56Si7		
	P1.1.Z.AN	02.2						2090	9255	55S7				
	P1.2.Z.AN	01.2	C35	1.0501		060A35		1550	1035	CC35	C35	F.113		
	P1.2.Z.AN	01.2	C45	1.0503		080M46		1650	1045	CC45	C45	F.114		
	P1.2.Z.AN	01.2	40Mn4	1.1157		150M36	15		1039	35M5				
	P1.2.Z.AN	01.2	36Mn5	1.1167				2120	1335	40M5		36Mn5	SMn438(H)	
	P1.2.Z.AN	01.2	28Mn6	1.1170		150M28	14A		1330	20M5	C28Mn		SCMn1	
	P1.2.Z.AN	01.2	C35G	1.1183		060A35		1572	1035	XC38TS	C36		S35C	
	P1.2.Z.AN	01.2	C45E	1.1191		080M46		1672	1045	XC42	C45	C45K	S45C	
	P1.2.Z.AN	01.2	C53G	1.1213		060A52		1674	1050	XC48TS	C53		S50C	
	P1.2.Z.AN	01.3	C55	1.0535		070M55		1655	1055		C55			
	P1.2.Z.AN	01.3	C55E	1.1203		070M55			1055	XC55	C50	C55K	S55C	
	P1.2.Z.AN	02.1	S275J2G3	1.0144		4360 43C		1412	A573-81	E 28-3			SM 400A;B;C	
	P1.2.Z.AN	02.1	S355J2G3+C2	1.0570		4360 50B		2132		E36-3	Fe52BFN/Fe52CFN		SM490A;B;C;YA;YB	
	P1.2.Z.AN	02.1	S355J2G3	1.0841		150 M 19		2172	5120	20 MC 5	Fe52	F-431		
	P1.3.Z.AN	01.3	C60E	1.0601		080A62	43D		1060	CC55	C60			
	P1.3.Z.AN	01.3	C60E	1.1221		080A62	43D		1678	XC60	C60		S58C	
	P1.3.Z.AN	01.4	C101E	1.1274		060 A 96		1870	1095	XC 100		F-5117		
	P1.3.Z.AN	01.4	C101u	1.1545		BW 1A		1880	W 1	Y105	C36KU	F5118	SK 3	
	P1.3.Z.AN	01.4	C105W1			BW2		2900	W210	Y120	C120KU	F515	SUP4	
	P1.3.Z.AN	02.1	S340 MGC	1.0961					9262	60SC7	60SiCr8	60SiCr8		
	P1.4.Z.AN	01.1	11SMn30	1.0715		230M07		1912	1213	S250	CF9SMn28	11SMn28	SUM22	
	P1.4.Z.AN	01.1	11SMnPb30	1.0718				1914	12L13	S250Pb	CF9SMnPb28	11SMnPb28	SUM22L	
	P1.4.Z.AN	01.1	10SPb20	1.0722						10PbF2	CF10SPb20	10SPb20		
	P1.4.Z.AN	01.1	11SMn37	1.0736		240M07	1B		1215	S 300	CF9SMn36	12SMn35		
	P1.4.Z.AN	01.1	11SMnPb37	1.0737				1926	12L14	S300Pb	CF9SMnPb36	12SMnPb35		
	P1.4.Z.AN	01.2	35S20	1.0726		212M36	8M	1957	1140	35MF4		F210G		
	P1.5.C.UT	01.1	GC16E	1.1142		030A04	1A	1325	1115					
	Acero	Acero de baja aleación												
		P2.1.Z.AN	02.1	16Mo3	1.5415		1501-240	2912	A204GrA	15D3	16Mo3KW	16Mo3		
		P2.1.Z.AN	02.1	14Ni6	1.5622				A350LF5	16N6	14Ni6	15N6		
		P2.1.Z.AN	02.1	21NiCrMo2	1.6523		805M20	362	8620	20NCD2	20NiCrMo2	20NiCrMo2	SNCM220(H)	
		P2.1.Z.AN	02.1	17CrNiMo6	1.6587		820A16			18NCD6			14NiCrMo13	
		P2.1.Z.AN	02.1	15Cr3	1.7015		523M15			5015	12C3			Scr415(H)
		P2.1.Z.AN	02.1	55Cr3	1.7176		527A60	48		5155	55C3			SUP9(A)
		P2.1.Z.AN	02.1	15CrMo5	1.7262				2216		12CD4		12CrMo4	SCM415(H)
		P2.1.Z.AN	02.1	13CrMo4-5	1.7335		1501-620Gr27			A182 F11;F12	15CD3.5	14CrMo4 5	14CrMo45	
		P2.1.Z.AN	02.1	10CrMo9 10	1.7380		1501-622 Gr31;45		2218	A182 F22	12CD9, 10	12CrMo9, 10	TU.H	
		P2.1.Z.AN	02.1	14MoV6 3	1.7715		1503-660-440						13MoCrV6	
		P2.1.Z.AN	02.1	50CoMo4	1.7228		823M30	33				653M31		
		P2.1.Z.AN	02.2	14NiCr10	1.5732					3415	14NC11	16NiCr11	15NiCr11	SNC415(H)
		P2.1.Z.AN	02.2	14NiCr14	1.5752		655M13; A12	36A		3415;3310	12NC15			SNC815(H)
		P2.1.Z.AN	02.1/02.2	16MnCr5	1.7131		(527M20)		2511	5115	16MC5	16MnCr5	16MnCr5	
		P2.1.Z.AN	02.1/02.2	34CrMo4	1.7220		708A37	19B	2234	4137;4135	35CD4	35CrMo4	34CrMo4	SCM432;SCCRM3
P2.1.Z.AN		02.1/02.2	41CrMo4	1.7223		708M40	19A	2244	4140;4142	42CD4TS	41CrMo4	42CrMo4	SCM 440	
P2.1.Z.AN		02.1/02.2	42CrMo4	1.7225		708M40	19A	2244	4140	42CD4	42CrMo4	42CrMo4	SCM440(H)	
P2.1.Z.AN		03.11	14NiCrMo134	1.6657		832M13	36C			42CD4	15NiCrMo13	14NiCrMo131		
P2.2.Z.AN		02.1	31CrMo12	1.8515		722 M 24		2240		30 CD 12	30CrMo12	F-1712		
P2.2.Z.AN		02.1	39CrMoV13 9	1.8523		897M39	40C				36CrMoV12			
P2.2.Z.AN		02.1	41CrS4	1.7039		524A14		2092		L1	105WCR 5			
P2.2.Z.AN		02.1	50NiCr13	1.2721				2550		L6	55NCV6		F-528	
P2.2.Z.AN		03.11	45WCrV7	1.2542		BS1		2710		S1			45WCrSi8	
P2.2.Z.AN/P2.5.Z.HT		02.1/02.2	36CrNiMo4	1.6511		816M40	110		9840	40NCD3	38NiCrMo4(KB)	35NiCrMo4		
P2.2.Z.AN/P2.5.Z.HT		02.1/02.2	34CrNiMo6	1.6582		817M40	24	2541	4340	35NCD6	35NiCrMo6(KB)			
P2.2.Z.AN/P2.5.Z.HT		02.1/02.2	34Cr4	1.7033		530A32	18B		5132	32C4	34Cr4(KB)	35Cr4	Scr430(H)	
P2.2.Z.AN/P2.5.Z.HT		02.1/02.2	41Cr4	1.7035		530A40	18		5140	42C4	41Cr4	42Cr4	Scr440(H)	
P2.2.Z.AN/P2.5.Z.HT		02.1/02.2	32CrMo12	1.7361		722M24	40B	2240		30CD12	32CrMo12	F.124.A		
P2.2.Z.AN/P2.5.Z.HT		02.1/02.2	51CrV4	1.8159		735A50	47	2230	6150	50CV4	50CrV4	51CrV4	SUP10	
P2.2.Z.AN/P2.5.Z.HT		02.1/02.2	41CrAlMo7	1.8509		905M39	41B	2940		40CAD6, 12	41CrAlMo7			
P2.3.Z.AN		02.1	100Cr6	1.3505		534A99	31	2258	52100	100C6	100Cr6	F.131	SUJ2	
P2.3.Z.AN/H1.2.Z.HA		02.1/02.2	105WCr6	1.2419				2140		105WC13	10WCr6	105WCr6	SKS31	
P2.3.Z.AN/H1.2.Z.HA													SKS2, SKS3	
P2.3.Z.AN/H1.3.Z.HA		02.1/02.2		1.2714					L6	55NCDV7		F.520.S	SKT4	
P2.3.Z.AN/H1.3.Z.HA		02.1/02.2	100Cr6	1.2067		BL3			L3	Y100C6		100Cr6		

ISO	MC	CMC	País										
			Europa	Alemania	Reino Unido	Suecia	EE.UU.	Francia	Italia	España	Japón		
			Estándar										
DIN EN	N.º W.	BS	EN	SS	AISI/SAE/ASTM	AFNOR	UNI	UNE	JIS				
P	P2.4.Z.AN	02.1	16MnCr5	1.7139	-	-	2127	-	-	-	-	-	-
	P2.5.Z.HT	02.1	16Mo5	1.5423	1503-245-420	-	-	4520	-	16Mo5	16Mo5	-	-
	P2.5.Z.HT	02.1	40NiCrMo8-4	1.6562	311-Type 7	-	-	8740	-	40NiCrMo2(KB)	40NiCrMo2	SNCM240	-
	P2.5.Z.HT	02.1	42Cr4	1.7045	-	-	2245	5140	-	-	42Cr4	SCR440	-
	P2.5.Z.HT	02.1	31NiCrMo14	1.5755	830 M 31	-	2534	-	-	-	F-1270	-	-
	P2.5.Z.HT	02.2	36NiCr6	1.5710	640A35	111A	-	-	3135	35NCG	-	SNC236	-
	P2.6.C.UT	02.1	22Mo4	1.5419	605A32	-	2108	8620	-	-	F520.S	-	-
	P2.6.C.UT	02.1/02.2	25CrMo4	1.7218	1717CDS110	-	2225	4130	25CD4	25CrMo4(KB)	AM26CrMo4	SCM420;SCM430	-
	P2.6.C.UT	06.2	-	-	-	-	2223	-	-	-	-	-	-
	Acero de alta aleación												
	P3.0.Z.AN	03.11	X210Cr12	1.2080	BD3	-	-	D3	Z200C12	X210Cr13KU X250Cr12KU	X210Cr12	SKD1	-
	P3.0.Z.AN	03.11	X43Cr13	1.2083	-	-	2314	-	-	-	-	-	-
	P3.0.Z.AN	03.11	X40CrMoV5 1	1.2344	BH13	-	2242	H13	Z40CDV5	X35CrMoV05KU X40CrMoV511KU	X40CrMoV5	SKD61	-
	P3.0.Z.AN	03.11	X100CrMoV5 1	1.2363	BA2	-	2260	A2	Z100CDV5	X100CrMoV51KU	X100CrMoV5	SKD12	-
	P3.0.Z.AN	03.11	X210CrW12	1.2436	-	-	2312	-	-	X215CrW12 1KU	X210CrW12	SKD2	-
	P3.0.Z.AN	03.11	X30WCrV9 3	1.2581	BH21	-	-	H21	Z30WCV9	X28W09KU X30WCrV9 3KU	X30WCrV9	SKD5	-
	P3.0.Z.AN	03.11	X165CrMoV 12	1.2601	-	-	2310	-	-	X165CrMoV12KU	X160CrMoV12	-	-
	P3.0.Z.AN	03.21	X155CrMoV12-1	1.2379	-	-	2736	HNV3	-	-	-	-	-
	P3.0.Z.HT	03.11	X8Ni9	1.5662	1501-509;510	-	-	ASTM A353	-	X10Ni9	XBNi09	-	-
P3.0.Z.HT	03.11	12Ni19	1.5680	-	-	-	-	Z18N5	-	-	-	-	
P3.1.Z.AN	03.11	S6-5-2	1.3343	4959BA2	-	2715	D3	Z40CSD10	15NiCrMo13	-	SUH3	-	
P3.1.Z.AN	03.13	-	-	BM 2	-	2722	M 2	Z85WDCV	HS 6-5-2-2	F-5603.	SKH 51	-	
P3.1.Z.AN	03.13	HS 6-5-2-5	1.3243	BM 35	-	2723	M 35	6-5-2-5	HS 6-5-2-5	F-5613	SKH 55	-	
P3.1.Z.AN	03.13	HS 2-9-2	1.3348	-	-	2782	M 7	-	HS 2-9-2	F-5607	-	-	
P3.2.C.AQ	06.33	G-X120Mn12	1.3401	Z120M12	-	2183	L3	Z120M12	XG120Mn12	X120Mn12	SCMnH/1	-	
Acero inoxidable ferrítico/martensítico													
P5.0.Z.AN	05.11/15.11	X10CrAl13	1.4724	403S17	-	-	405	Z10C13	X10CrAl12	F311	SUS405	-	
P5.0.Z.AN	05.11/15.11	X10CrAl18	1.4742	430S15	60	-	430	Z10CAS18	X8Cr17	F3113	SUS430	-	
P5.0.Z.AN	05.11/15.11	X10CrAl2-4	1.4762	-	-	2322	446	Z10CAS24	X16Cr26	-	SUH446	-	
P5.0.Z.AN	05.11/15.11	X1CrMoTi18-2	1.4521	-	-	2326	S44400	-	-	-	-	-	
P5.0.Z.AN/P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X6Cr13	1.4000	403S17	-	2301	403	Z6C13	X6Cr13	F3110	SUS403	-	
P5.0.Z.AN/P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X7Cr14	1.4001	-	-	-	-	-	-	F8401	-	-	
P5.0.Z.AN/P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X10Cr13	1.4006	410S21	56A	2302	410	Z10C14	X12Cr13	F3401	SUS410	-	
P5.0.Z.AN/P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X6Cr17	1.4016	430S15	960	2320	430	Z8C17	X8Cr17	F3113	SUS430	-	
P5.0.Z.AN/P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X6CrAl13	1.4002	405S17	-	-	405	Z8CA12	X6CrAl13	-	-	-	
P5.0.Z.AN/P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X20Cr13	1.4021	420S37	-	2303	420	Z20C13	X20Cr13	-	-	-	
P5.0.Z.AN/P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X6CrMo17-1	1.4113	434S17	-	2325	434	Z8CD17.01	X8CrMo17	-	SUS434	-	
P5.0.Z.HT	03.11	X45CrS9-3-1	1.4718	401S45	52	-	HW3	Z45CS9	X45CrSi8	F322	SUH1	-	
P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X85CrMoV18-2	1.4748	443S65	59	-	HNV6	Z80CSN20.02	X80CrSiNi20	F320B	SUH4	-	
P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X20CrMoV12-1	1.4922	-	-	2317	-	-	X20CrMoNi 12 01	-	-	-	
P5.0.Z.PH	05.11/15.11	X12CrS13	1.4005	416 S 21	-	2380	416	Z11CF13	X12 CrS 13	F-3411	SUS 416	-	
P5.0.Z.PH	05.11/15.11	X46Cr13	1.4034	420S45	56D	2304	-	Z40CM	X40Cr14	F3405	SUS420J2	-	
P5.0.Z.PH	05.11/15.11	X19CrNi17-2	1.4057	431S29	57	2321	431	Z15CNi6.02	X16CrNi16	F3427	SUS431	-	
P5.0.Z.PH	05.12/15.12	X5CrNiCuNb16-4	1.4542	1.4548	-	-	630	Z7CNU17-04	-	-	-	-	
P5.0.Z.PH	15.21	X4 CrNiMo16-5	1.4418	-	-	2387	-	Z6CND16-04-01	-	-	-	-	
P5.1.Z.AN/P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X14CrMoS17	1.4104	-	-	2383	430F	Z10CF17	X10CrS17	F3117	SUS430F	-	
P2.1.Z.AN	02.1	-	1.0045	Nombres comerciales OVAKO 520M (Ovako Steel) FORMAX (Uddeholm Tooling) IMACRO NIT (Imatra Steel) INEXA 482 (XM) (Inexa Profil) S355J2G3(XM) C45(XM) 16MnCrS5(XM) INEXA280(XM) O70M20(XM) HARDOX 500 (SSAB – Swedish Steel Corp.) WELDOX 700 (SSAB – Swedish Steel Corp.)									

ISO	MC	CMC	País										
			Europa	Alemania	Reino Unido	Suecia	EE.UU.	Francia	Italia	España	Japón		
			Estándar										
DIN EN	N.º W.	BS	EN	SS	AISI/SAE/ASTM	AFNOR	UNI	UNE	JIS				
M	Aceros inoxidables austeníticos												
	M1.0.Z.AQ	05.11/15.11	X3CrNiMo13-4	1.4313	425C11	-	2385	CA6-NM	Z4CND13.4M Z38C13M	(G)X6CrNi304	-	SCS5	
	M1.0.Z.AQ/M1.0.C.UT	05.11/15.11	X53CrMnNiN21-9	1.4871	349S54	-	-	EV8	Z52CMN21.09	X53CrMnNiN21 9	-	SUH35, SUH36	
	M1.0.Z.AQ/M1.0.C.UT	05.21/15.21	X2CrNiN18-10	1.4311	304S62	-	2371	304LN	Z2CN18.10	-	-	SUS304LN	
	M1.0.Z.AQ/M1.0.C.UT	05.21/15.21	X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	-	-	2375	316LN	Z2CND17.13	-	-	SUS316LN	
	M1.0.Z.AQ/M1.0.C.UT	05.21/15.21	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	316S13	-	2348	316L	Z2CND17-12	X2CrNiMo1712	-	-	
	M1.0.Z.AQ/M1.0.C.UT	05.21/15.21	X2CrNiMo18-14-3	1.4435	316S13	-	2353	316L	Z2CND17.12	X2CrNiMo17 12	-	-	SCS16, SUS316L
	M1.0.Z.AQ/M1.0.C.UT	05.21/15.21	X3CrNiMo17-3-3	1.4436	316S33	-	2343, 2347	316	Z6CND18-12-03	X8CrNiMo1713	-	-	-
	M1.0.Z.AQ/M1.0.C.UT	05.21/15.21	X2CrNiMo18-15-4	1.4438	317S12	-	2367	317L	Z2CND19.15	X2CrNiMo18 16	-	-	SUS317L
	M1.0.Z.AQ/M1.0.C.UT	05.21/15.21	X6CrNiNb18-10	1.4550	347S17	58F	2338	347	Z6CND18.10	X6CrNiNb18 11	F.3552 F.3524	-	SUS347
	M1.0.Z.AQ/M1.0.C.UT	05.21/15.21	X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	320S17	58J	2350	316Ti	Z6NDT17.12	X6CrNiMoTi17 12	F.3535	-	-
	M1.0.Z.AQ/M1.0.C.UT	05.21/15.21	X10CrNiMoNb 18-12	1.4583	-	-	-	318	Z6CNDNb17 13B	X6CrNiMoNb17 13	-	-	-
	M1.0.Z.AQ/M1.0.C.UT	05.21/15.21	X15CrNiSi20-12	1.4828	309S24	-	-	309	Z15CNS20.12	-	-	-	SUH309
	M1.0.Z.AQ/M1.0.C.UT	05.21/15.21	X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	301S21	58C	2370	308	Z1NCUDU25.20	-	F.8414	-	SCS17
	M1.0.Z.AQ	05.21/15.21	X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547	-	-	2378	S31254	Z1CNDU20-18-06AZ	-	-	-	-
	M1.0.Z.AQ/M1.0.C.UT	05.21/15.21	X9CrNi18-8	1.4310	-	-	2331	301	Z12CN17.07	X12CrNi17 07	F.3517	-	SUS301
	M1.0.Z.PH	05.22/15.22	X7CrNiAl17-7	1.4568 1.4504	316S111	-	-	17-7PH	Z8CNA17-07	X8CrNiMo1712	-	-	-
	M1.0.Z.AQ/M1.0.C.UT	05.21/15.21	X2CrNi19-11	1.4306	304S12	-	2352	304L	Z2CN18-10	X2CrNi18 11	-	-	-
	M1.1.Z.AQ	05.21/15.21	-	-	304S31	-	-	-	-	-	-	-	-
	M1.1.Z.AQ	05.21/15.21	X5CrNi18-10	1.4301	304S15	58E	2332, 2333	304	Z6CN18.09	X5CrNi18 10	F.3504 F.3541	-	SUS304
	M1.1.Z.AQ	05.21/15.21	X5CrNiMo17-2-2	1.4401	316S16	58J	2347	316	Z6CND17.11	X5CrNiMo17 12	F.3543	-	SUS316
	M1.1.Z.AQ	05.21/15.21	X6CrNiTi18-10	1.4541	321S12	58B	2337	321	Z6CNT18.10	X6CrNiTi18 11	F.3553 F.3523	-	SUS321
	M1.2.Z.AQ	05.21/15.21	X8CrNiSi18-9	1.4305	303S21	58M	2346	303	Z10CNF 18.09	X10CrNiSi 18.09	F.3508	-	SUS303
	Aceros inoxidables superausteníticos (Ni > 20%)												
	M2.0.C.AQ	20.11	G-X40NiCrSi36-18	1.4865	330C11	-	-	-	-	XG50NiCr39 19	-	-	SCH15
	M2.0.Z.AQ	05.21/15.21	X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	-	-	2562	UNS V 0890A	Z2 NCDU25-20	-	-	-	-
	M2.0.Z.AQ	05.21/15.21	X8CrNi25-21	1.4845	310S24	-	2361	310S	Z12CN25 20	X6CrNi25 20	F.331	-	SUH310
	M2.0.Z.AQ	20.11	X12NiCrSi36 16	1.4864	-	-	-	330	Z12NCS35.16	F-3313	-	-	SUH330
	M2.0.Z.AQ	05.23/15.23	X1NiCrMoCu31-27-4	1.4563	-	-	2584	NO8028	Z1NCUDU31-27-03	-	-	-	-
	Acero inoxidable dúplex (austenítico/ferrítico)												
	M3.1.Z.AQ/M3.1.C.AQ	05.51/15.51	X2CrNiN23-4	1.4362	-	-	2376	S31500	-	-	-	-	-
	M3.1.Z.AQ/M3.1.C.AQ	05.51/15.51	X8CrNiMo27-5	-	-	-	2324	S32900	-	-	-	-	-
	M3.2.Z.AQ/M3.2.C.AQ	05.52/15.52	X2CrNiN23-4	-	-	-	2327	S32304	Z2CN23-04AZ	-	-	-	-
	M3.2.Z.AQ/M3.2.C.AQ	05.52/15.52	-	-	-	-	2328	-	-	-	-	-	-
	M3.2.Z.AQ/M3.2.C.AQ	05.52/15.52	X2CrNiMoN22-53	-	-	-	2377	S31803	Z2CND22-05-03	-	-	-	-
M1.1.Z.AQ	05.21/15.21	-	-	Nombres comerciales									
M1.1.Z.AQ	05.21/15.21	-	-	SANMAC 304 (Sandvik Steel)									
M1.1.Z.AQ	05.21/15.21	-	-	SANMAC 304L (Sandvik Steel)									
M1.1.Z.AQ	05.21/15.21	-	-	SANMAC 316 (Sandvik Steel)									
M1.1.Z.AQ	05.21/15.21	-	-	SANMAC 316L (Sandvik Steel)									
M1.0.Z.AQ	05.23/15.23	-	-	254 SMO									
M2.0.Z.AQ	05.23/15.23	-	-	654 SMO									
M3.2.Z.AQ	05.52/15.52	-	-	SANMAC SAF 2205 (Sandvik Steel)									
M3.2.Z.AQ	05.52/15.52	-	-	SANMAC SAF 2507 (Sandvik Steel)									

ISO	MC	CMC	País								
			Europa	Alemania	Reino Unido	Suecia	EE.UU.	Francia	Italia	España	Japón
			Estándar								
DIN EN	N.º W.	BS	EN	SS	AISI/SAE/ASTM	AFNOR	UNI	UNE	JIS		
K	Fundición maleable										
	K1.1.C.NS	07.1	-		8 290/6	0814					FCMB310
	K1.1.C.NS	07.1	EN-GJMB350-10	0.8135	B 340/12	0815	32510	MN 32-8			FCMW330
	K1.1.C.NS	07.2	EN-GJMB450-6	0.8145	P 440/7	0852	40010	Mn 450	GMN 45		FCMW370
	K1.1.C.NS	07.2	EN-GJMB550-4	0.8155	P 510/4	0854	50005	MP 50-5	GMN 55		FCMP490
						P 570/3	0858	70003	MP 60-3		FCMP540
	K1.1.C.NS	07.2	EN-GJMB650-2	0.8165	P570/3	0856	A220-70003	Mn 650-3	GMN 65	-	FCMP590
	K1.1.C.NS	07.3	EN-GJMB700-2	0.8170	P690/2	0862	A220-80002	Mn700-2	GMN 70		FCMP690
	Fundición gris										
	K2.1.C.UT	08.1				0100					
	K2.1.C.UT	08.1	EN-GJL-100	0.6010		0110	No 20 B	Ft 10 D			FC100
	K2.1.C.UT	08.1	EN-GJL-150	0.6015	Grade 150	0115	No 25 B	Ft 15 D	G 15	FG 15	FC150
	K2.1.C.UT	08.1	EN-GJL-200	0.6020	Grade 220	0120	No 30 B	Ft 20 D	G 20		FC200
	K2.1.C.UT	08.2	EN-GJL-250	0.6025	Grade 260	0125	No 35 B	Ft 25 D	G 25	FG 25	FC250
	K2.1.C.UT	08.2	EN-JLZ	0.6040	Grade 400	0140	No 55 B	Ft 40 D			
	K2.2.C.UT	08.2	EN-GJL-300	0.6030	Grade 300	0130	No 45 B	Ft 30 D	G 30	FG 30	FC300
	K2.2.C.UT	08.2	EN-GJL-350	0.6035	Grade 350	0135	No 50 B	Ft 35 D	G 35	FG 35	FC350
	K2.3.C.UT	08.3	GGL-NiCr20-2	0.6660	L-NiCuCr202	0523	A436 Type 2	L-NC 202	-	-	
	Fundición nodular										
	K3.1.C.UT	09.1	EN-GJS-400-15	0.7040	SNG 420/12	0717-02	60-40-18	FCS 400-12	GS 370-17	FGE 38-17	FCD400
	K3.1.C.UT	09.1	EN-GJS-400-18-LT	0.7043	SNG 370/17	0717-12	-	FGS 370-17			
	K3.1.C.UT	09.1	EN-GJS-350-22-LT	0.7033	-	0717-15	-	-			
	K3.1.C.UT	09.1	EN-GJS-800-7	0.7050	SNG 500/7	0727	80-55-06	FGS 500-7	GS 500	FGE 50-7	FCD500
	K3.2.C.UT	09.2	EN-GJS-600-3	0.7060	SNG 600/3	0732-03	-	FGS 600-3			FCD600
	K3.3.C.UT	09.2	EN-GJS-700-2	0.7070	SNG 700/2	0737-01	100-70-03	FGS 700-2	GS 700-2	FGE 70-2	FCD700
	K3.5.C.UT	-	EN-GJSA-XNiCr20-2	0.7660	Grade S6	0776	A43D2	S-NC 202	-	-	
	Fundición de grafito compactado										
K4.1.C.UT	-	EN-GJV-300									
K4.1.C.UT	-	EN-GJV-350									
K4.2.C.UT	-	EN-GJV-400									
K4.2.C.UT	-	EN-GJV-450									
K4.2.C.UT	-	EN-GJV-500									
Fundición dúctil austemperizada											
K5.1.C.NS	-	EN-GJS-800-8				ASTM A897 No. 1					
K5.1.C.NS	-	EN-GJS-1000-5				ASTM A897 No. 2					
K5.2.C.NS	-	EN-GJS-1200-2				ASTM A897 No. 3					
K5.2.C.NS	-	EN-GJS-1400-1				ASTM A897 No. 4					
K5.3.C.NS	-					ASTM A897 No. 5					

ISO	MC	CMC	País										
			Europa	Alemania	Reino Unido	Suecia	EE.UU.	Francia	Italia	España	Japón		
			Estándar										
			DIN EN	N.º W.	BS	EN	SS	AIISI/SAE/ASTM	AFNOR	UNI	UNE	JIS	
N	Aleaciones con base de aluminio												
	Metales no féreos	N1.3.C.AG	30.21	G-AISI9MGWA	3.2373			4251	SC64D	A-S7G			C4BS
		N1.3.C.UT	30.21	G-ALMG5		LM5		4252	GD-AISI12	ASU12			AC4A
		N1.3.C.UT/N1.3.C.AG	30.21/30.22			LM25		4244	356.1				A5052
		N1.3.C.UT		GD-AISI12				4247	A413.0				A6061
		N1.3.C.AG		GD-AISI8Cu3		LM24		4250	A380.1				A7075
		N1.3.C.UT		G-AISI12(Cu)		LM20		4260	A413.1				ADC12
		N1.3.C.UT		G-AISI12		LM6		4261	A413.2				
		N1.3.C.UT		G-AISI10Mg(Cu)		LM9		4253	A360.2				
		S	Aleaciones con base de níquel										
S2.0.Z.AG		20.22	S-NiCr13A16MoNb	LW2 4670	mar-46	-	-	5391	NC12AD	-	-	-	
S2.0.C.UT	20.24	NiCo15Cr10MoAlTi	LW2 4674	-	-	-	AMS 5397	-	-	-	-		
S2.0.Z.AG	20.22	NiFe35Cr14MoTi	LW2.4662	-	-	-	5660	ZSNCDT42	-	-	-		
S2.0.Z.AG	20.22	NiCr19Fe19NbMo	LW2.4668	HR8	-	-	5383	NC19eNB	-	-	-		
S2.0.Z.AG	20.22	NiCr20TiAk	2.4631	Hr401.601	-	-	-	NC20TA	-	-	-		
S2.0.Z.AG	20.22	NiCr19Co11MoTi	2.4973	-	-	-	AMS 5399	NC19KDT	-	-	-		
S2.0.Z.AG	20.22	NiCr19Fe19NbMo	LW2.4668	-	-	-	AMS 5544	NC20K14	-	-	-		
S2.0.Z.AN	20.21	-	2.4603	-	-	-	5390A	NC22FeD	-	-	-		
S2.0.Z.AN	20.21	NiCr22Mo9Nb	2.4856	-	-	-	5666	NC22FeDNB	-	-	-		
S2.0.Z.AG	20.21	NiCr20Ti	2.4630	HR5.203-4	-	-	-	NC20T	-	-	-		
S2.0.Z.AG	20.22	NiCu30AL3Ti	2.4375	3072-76	-	-	4676	-	-	-	-		
S	Aleaciones con base de cobalto												
S3.0.Z.AG	20.32	CoCr20W15Ni CoCr22W14Ni	LW2.4964	-	-	-	5537C, AMS 5772	KC20WN KC22WN	-	-	-		
S	Aleaciones de titanio												
S4.2.Z.AN	23.22	TiAl5Sn2.5	3.7115.1	TA14/17	-	-	UNS R54520	T-A5E UNS R56400	-	-	-		
S4.2.Z.AN	23.22	TiAl6V4	3.7165.1	TA10-13/TA28	-	-	-	UNS R56401	T-A6V	-	-		
S4.3.Z.AN	23.22	TiAl5V5Mo5Cr3			-	-				-	-		
S4.2.Z.AN	23.22	TiAl4Mo4Sn4Si0.5	3.7185		-	-				-	-		
Superaleaciones termorresistentes	S2.0.Z.UT/S2.0.Z.AN	20.11	Nombres comerciales										
			Base de hierro										
			Incoloy 800										
			Base de níquel										
	S2.0.Z.AN	20.2	Haynes 600										
	S2.0.Z.AN	20.2	Nimocast PD16										
	S2.0.Z.AG	20.2	Nimonic PE 13										
	S2.0.Z.AG	20.2	Rene 95										
	S2.0.Z.AN	20.21	Hastelloy C										
	S2.0.Z.AN	20.21	Incoloy 825										
	S2.0.Z.AN	20.21	Inconel 600										
	S2.0.Z.AN	20.21	Monet 400										
	S2.0.Z.AG	20.22	Inconel 700										
	S2.0.Z.AG	20.22	Inconel 718										
	S2.0.Z.AG	20.22	Mar - M 432										
S2.0.Z.AG	20.22	Nimonic 901											
S2.0.Z.AG	20.22	Waspaloy											
S2.0.C.NS	20.24	Jessop G 64											
S3.0.Z.AG	20.3	Base de cobalto											
S3.0.Z.AG	20.3	Air Resist 213											
S3.0.Z.AG	20.3	Jetalloy 209											
H	Materiales templados												
Materiales templados	H1.2.Z.HA	04.1	X100CrMo13	1.4108	-	-	2258 08	440A	-	-	-	C4BS	
	H1.3.Z.HA	04.1	X110CrMoV15	1.4111	-	-	2534 05	610	-	-	-	AC4A	
	H1.2.Z.HA	04.1	X65CrMo14	-	-	-	2541 06	0-2	-	-	-	AC4A	