Acero inoxidable martensítico

MA MA2 - MA3 - MA3M - MA4 - MA5

Composición química

Calidades	C	Si	Mn	Cr	Mo	N
MA2	0,22	0,35	0,35	13,3	-	0,03
MA3	0,32	0,35	0,35	13,7	-	0,03
MA3M	0,38	0,35	0,35	14,0	0,8	0,09
MA4	0,46	0,35	0,35	13,8	-	0,03
MA5	0,35	0,35	0,35	16,0	-	0,15

Valores indicativos (peso %)

MA2	MA3	MA3M	MA4	MA5
Designación europea [1]				
1.4021	1.4028	1.4419 *	1.4034	-
Designación americana [2]				
AISI 420	AISI 420	-	-	-

[1] Según EN 10088 - [2] Según ASTM A 176 - *Asimilado

Estas calidades son conformes con:

- Ficha de seguridad sobre el material en acero inoxidable en Europa n°1: (Directiva Europea 2001/58/EC).
- Directiva de la Comisión Europea 2013/28/UE para los vehículos al final de su vida útil, y el Anexo II del 27 de junio de 2002
- Estándares NFA 36 711 para acero inoxidable en contacto con alimentos, productos y bebidas destinados al consumo humano y animal" (excluido los embalajes).
- Requerimientos del NSF/ANSI 51, estándar internacional de "los materiales de Equipamientos del Sector de la Restauración" y de la F.D.A. (United States Food and Drug Administration) en lo que se refiere a los materiales que entran en contacto con alimentos.
- El decreto francés No. 92-631 en fecha del 8 de julio de 1992 y el Reglamento (EC) No. 1935/2004 del 27 de octubre de 2004 sobre los materiales y artículos destinados a entrar en contacto con alimentos.
- La orden gubernamental francesa en fecha del 13 de enero de 1976 en relación con los materiales y artículos en acero inoxidable que entran en contacto con alimentos.
- La recomendación EDQM (European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare); la publicación "Metals and alloys used in food contacting materials and articles - A practical guide for manufacturers and regulators - 1st edition 2013"

Características generales

Los martensíticos se caracterizan por su capacidad para endurecerse mediante tratamiento térmico. En condiciones de temple y revenido, alcanzan un alto nivel de dureza lo cual aumenta su poder de corte. Esta característica combinada con una buena resistencia a la corrosión, permite a los martensíticos responder a las exigencias de numerosas aplicaciones.

Aplicaciones

- Hojas de cuchillos y utensilios de cocina diversos
- Hojas de equipamiento industrial
- Herramientas de corte
- Piezas mecánicas y herramientas diversas.

Para las hojas de cuchillos de cocina y utensilios de cocina, se recomienda la calidad MA3M por su contenido en molibdeno y debido a su mejor resistencia a la corrosión y su capacidad para alcanzar elevados niveles de dureza en condiciones de temple y revenido.

Gama de producto

Chapa, Bobinas

	Recocido	Trabajo en frío
Espesor (mm)	0,40 hasta 6	
Ancho (mm)	hasta 1.000	
Acabado	Laminado en frío / Laminado en caliente (según el espesor)	
Calidades	–	C700: TS = 700 a 850 MPa C850: TS = 850 a 1.000 MPa

Flejes

	Recocido	Trabajo en frío
Espesor (mm)	0,075 hasta 2,50	0,060 hasta 2,50
Ancho (mm)	hasta 700	hasta 700
Acabado	Laminado en frío (2B, 2D, 2R, 2F)	Laminado en frío (2H, 2F)
Calidades	–	C700: TS = 700 a 850 MPa C850: TS = 850 a 1.000 MPa C1.000: TS = 1.000 a 1.150 MPa

TS = Resistencia máxima a la tracción (MPa)

Propiedades físicas

Chapa laminada en frío

Densidad	d		4 °C	7,7
Temperatura de fusión	Tf	°C		1.400 a 1.420
Calor específico	c	J/kg.K	20 °C	460
Conductividad térmica	k	W/m.K	20 °C 200 °C	30 31
Coeficiente medio de dilatación térmica	α	10^{-6}/K	20-200 °C 20-400 °C	11 12
Resistividad eléctrica	ρ	Ω.m	20 °C	$6{\cdot}2{\cdot}10^{-7}$
Permeabilidad magnética	μ	en H=800 A/m	20 °C	700
Modulo de Young	E	GPa	20 °C	215

Propiedades mecánicas

Tras recocido (estado de entrega)

Según la norma ISO 6892-1, parte 1, probeta perpendicular al sentido de laminado.

Lo = 80 mm (espesor < 3 mm), 5,65 √ So (espesor ≥ 3 mm)

Calidades	Rm [1] (MPa)	$Rp_{0,2}$ [2] (MPa)	A [3] %	HRB
MA2	580	340	25	81
MA3	610	330	24	85
MA3M	680	400	21	89
MA4	670	390	21	89
MA5	680	390	21	89

Valores típicos - [1] Resistencia máxima a la tracción (Rm) - [2] Límite elástico ($Rp_{0,2}$) - [3] Elongación (A)

Endurecimiento tras temple y revenido en aceite

Calidades	Según EN 10088 [4]		Valores típicos [5 - 6]	
	HRC	HV	HRC	HV
MA2	44 a 50	440 a 530	52	546
MA3	45 a 51	450 a 550	54	585
MA3M	-	-	57	636
MA4	49 a 55	510 a 610	56	609
MA5	-	-	58	653

[4] Austenización a 950-1050 °C para MA2 y MA3, a 1.000-1.100 °C para MA4 + revenido a 200-350 °C.

[5] Austenización durante 10 minutos a 1.025 °C - Enfriamiento forzado por aire a 20 °C - Templado durante 1 hora a 180 °C.

[6] Valores no garantizados como los obtenidos tras el tratamiento térmico en el laboratorio al tener en cuenta la temperatura del metal y no la del horno.

Tratamiento térmico

El material se entrega en estado recocido con una estructura recocida formada por ferrita y carburos.

Los aceros inoxidables martensíticos tienen una alta resistencia mecánica tras un tratamiento térmico completo que comprende la austenización, el enfriamiento rápido y el revenido.

El tratamiento recomendado es la austenización mantenido 10 minutos a 1.025 °C - 1.050 °C seguido de un enfriamiento en menos de 1 minuto a 20 °C en una atmósfera reductora de nitrógeno e hidrógeno. A continuación, revenido durante 1 hora a 180 °C. Son condiciones térmicas en la pieza. Una carga con un solapamiento excesivo entre las piezas debe evitarse porque dificultará el cumplimiento de estas condiciones y, en consecuencia, puede degradar la resistencia a la corrosión y la dureza de las piezas.

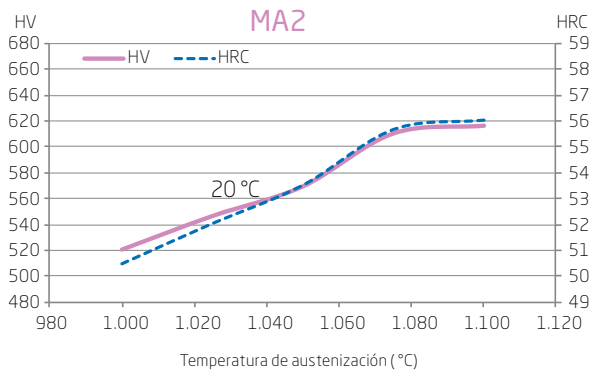
Una temperatura de austenización inferior a 1.025 °C es posible, pero dará lugar a una menor dureza.

Por el contrario, una temperatura de austenización superior a 1.050 °C, sin superar los 1.100 °C, permitirá aumentar la dureza de las calidades martensíticas, pero para el MA5 el tratamiento de enfriamiento bajo cero será imprescindible para reducir la tasa de austenita retenida.

La temperatura de revenido se puede aumentar ligeramente hasta 225 °C para mejorar la resistencia al impacto, pero en detrimento de la dureza. Por otro lado, no se recomienda bajar a menos de 180 °C para evitar la fragilidad de la pieza.

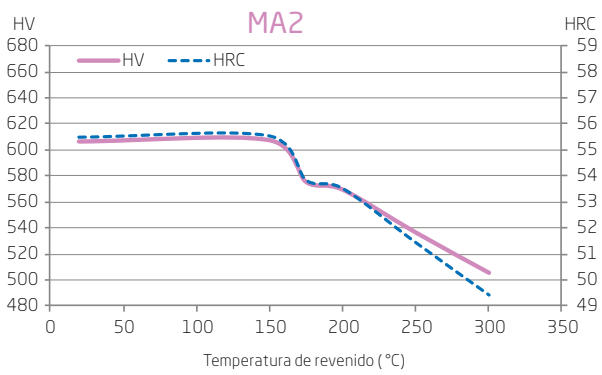
Influencia de la temperatura de austenización en la dureza

Austenización, temple a 20 °C o -80 °C y revenido durante 1 hora a 180 °C



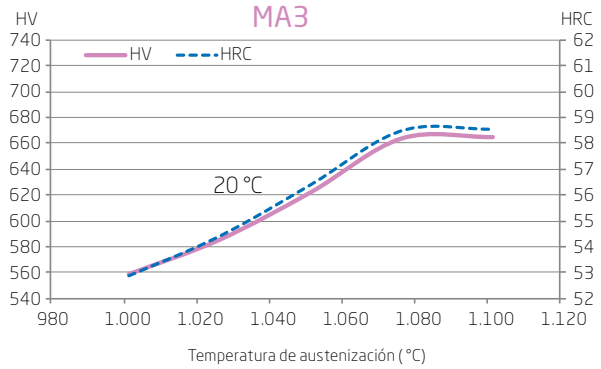
Influencia de la temperatura de revenido en la dureza

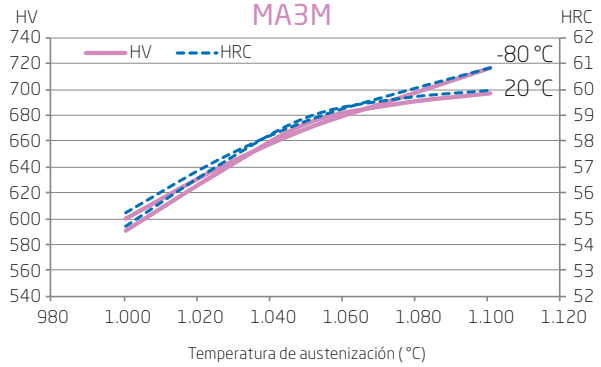
Austenitización a 1.050 °C, temple a 20 °C y revenido

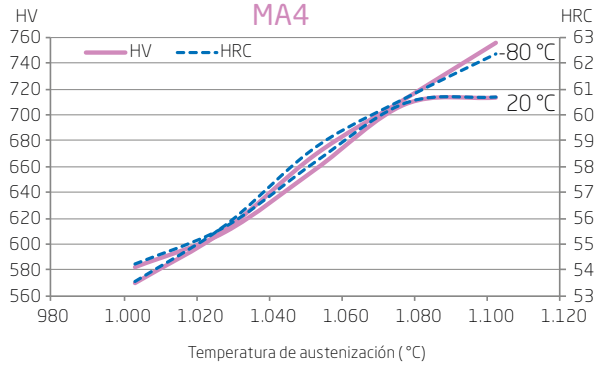


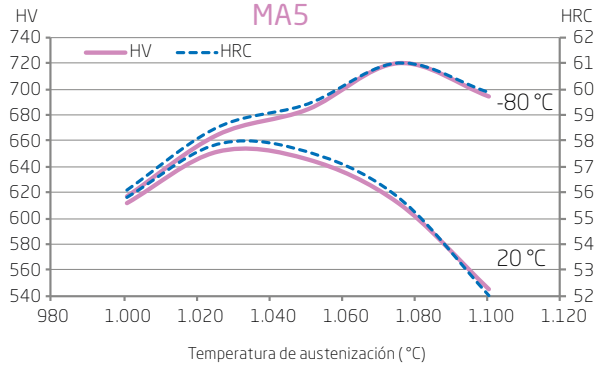
Influencia de la temperatura de austenización en la dureza

Austenización, temple a 20 °C o - 80 °C y revenido durante 1 hora a 180 °C



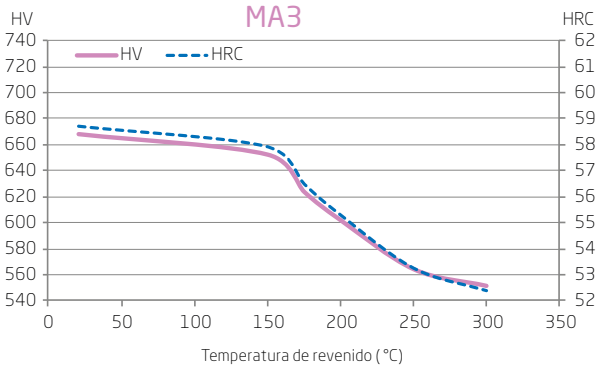


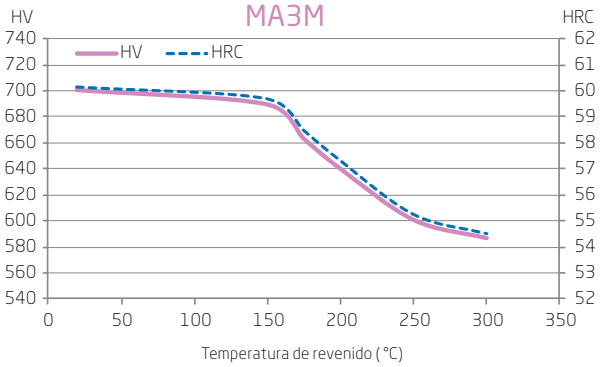


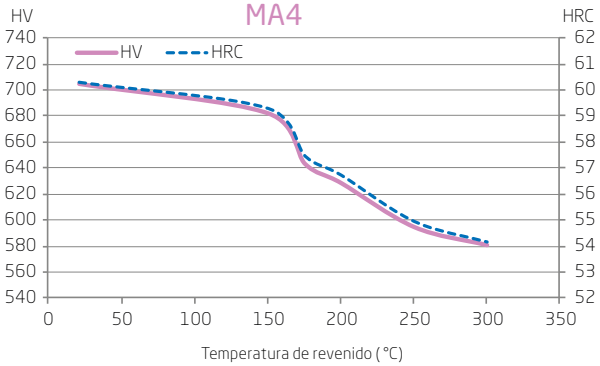


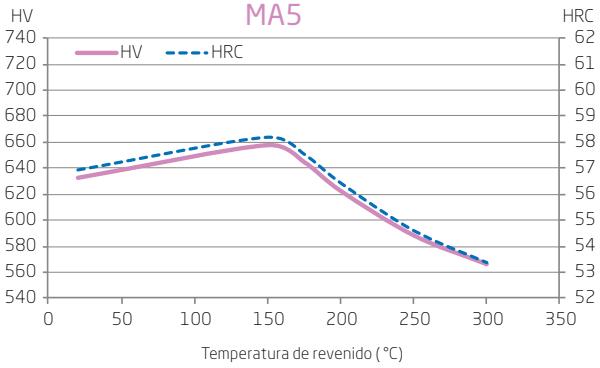
Influencia de la temperatura de revenido en la dureza

Austenitización a 1.050 °C, temple a 20 °C y revenido









Resistencia a la corrosión

La resistencia a la corrosión depende de las condiciones de temple y revenido utilizadas y, principalmente, de la velocidad de enfriamiento tras la austenización.

Por debajo de la velocidad de enfriamiento crítica, del orden de 10 °C/s, se observa una pérdida de resistencia a la corrosión por picadura, debido a la precipitación de carburos y nitruros de cromo que conduce a un agotamiento del cromo alrededor de los precipitados. En la práctica, esto significa que hay que prohibir el simple enfriamiento por aire y que el enfriamiento debe realizarse mediante un temple reductor forzado con gas o aceite. También hay que prohibir una temperatura de revenido superior a 300 °C porque provoca la precipitación de carburos y nitruros de cromo.

Además, el calentamiento local debido a las operaciones de acabado de los componentes mecánicos, como el esmerilado, el afilado, el pulido o el ranurado, no debe inducir temperaturas superiores a las recomendadas para el revenido.

Resistencia a la corrosión (continuación)

Por último, el estado de la superficie es otro factor que puede afectar a la resistencia a la corrosión: una superficie pulida con poca rugosidad es siempre beneficiosa.

La resistencia a la corrosión depende de la composición química de las diferentes calidades de acero inoxidable martensítico. Los elementos químicos beneficiosos son el cromo, el molibdeno y el nitrógeno y el elemento químico perjudicial es el carbono debido a su capacidad de consumir el cromo en forma de carburos de cromo no disueltos completamente durante la austenización.

La siguiente fórmula expresa correctamente el efecto de estos elementos químicos sobre la resistencia a la corrosión:
% Cr + 3,3 % Mo + 16 % N - 5 % C.

La susceptibilidad a la corrosión por picadura se mide mediante un ensayo electroquímico para determinar el potencial de picadura. Cuanto mayor sea el potencial de picadura, más resistente será la calidad a la corrosión por picadura .

Así se distinguen los aceros martensíticos MA2, MA3 y MA4 con una resistencia a la corrosión moderada de los aceros martensíticos MA3M y MA5 con una buena resistencia a la corrosión.

Resistencia a la corrosión	MA4	MA3	MA2	MA3M	MA5
% Cr + 3,3 % Mo + 16 % N - 5 % C	12,0	12,6	12,7	16,2	16,7
Potencial de picaduras $E_{0,1}$ (mV/ECS) - NaCl 0,02M, 23 °C, pH 6,6	300 a 350	300 a 350	300 a 350	420	470

Soldadura

Para soldar aceros inoxidables martensíticos es necesario tomar ciertas precauciones ya que la transformación martensítica tiende a provocar fisuras (a veces de carácter retardado) a temperaturas inferiores a 400 °C. Se recomienda precalentar las piezas a unos 200 °C antes de soldarlas.

En los procesos de soldadura que requieren el uso de gas de protección (TIG, MIG, plasma), el uso de hidrógeno y nitrógeno está estrictamente prohibido. Los aceros inoxidables martensíticos pueden ensamblarse mediante soldadura por puntos y por costura, y también mediante soldadura por arco.

Se recomienda un tratamiento térmico posterior a la soldadura para los grados cuyo contenido de carbono es superior al 0,2 %.

Cuando la soldadura se realiza sin metal de aportación, se pueden utilizar los siguientes tratamientos térmicos posteriores a la soldadura:

- blandamiento entre 650 y 800 °C, pero en este caso la resistencia a la corrosión resistencia a la corrosión se degrada
- Austenización a 1.025 °C, seguida de revenido a 180 °C

Cuando la soldadura se realiza con un metal de aportación, se puede elegir entre:

- Una aleación de la misma composición que el metal base (soldadura homogénea con electrodo o hilo AWS 420), con tratamiento térmico postoperatorio como el anterior si se desea obtener la misma dureza de la soldadura y del metal base
- Una aleación de composición diferente a la del metal base (soldadura heterogénea con electrodo o hilo de austenita de tipo ER 308L, 309L o 316L según la norma EN-ISO 14343), pero un tratamiento térmico postoperatorio siempre tendrá que aplicarse para evitar la fragilidad de la zona afectada por el calor (H.A.Z.)

Decapado

Las soldaduras deben ser decapadas y repasadas para obtener la resistencia a la corrosión del metal base.

El decapado puede realizarse en un baño o localmente utilizando pastas específicas diseñadas para los aceros inoxidables.

Para el decapado se puede utilizar una mezcla de ácido nítrico y ácido fluorhídrico (15 % HNO_3 + 1 % HF).

Para la pasivación puede utilizarse ácido nítrico al 25 % (2 horas a 20 °C o 10 min a 50 °C) seguido de un lavado a fondo con agua fría (según EN-ISO 14343).

Proceso de soldadura	Sin metal de aportación	Con metal de aportación			Gas de protección
	Espesores típicos	Espesores	Metal de aportación		*Hidrógeno y nitrógeno prohibidos
			Alambrón	Hilo	
Resistencia : continua, por puntos	≤ 2 mm				
TIG	≤ 1,5 mm	> 0,5 mm	ER 309 L (Si) ER 420 (1)	ER 309 L (Si) ER 420 (1)	Ar, Ar + He
PLASMA	≤ 1,5 mm	> 0,5 mm		ER 309 L (Si) ER 420 (1)	Ar
MIG		> 0,8 mm		ER 309 L (Si) ER 420 (1)	Ar + 2 % CO_2 o Ar + 2 % O_2
S.A.W.		> 2 mm		ER 309 L (Si) ER 420 (1)	
Electrodo		Reparación	ER 309 L (Si) ER 420 (1)		
Laser	≤ 5 mm				He

(1) El metal de aportación homogéneo ER 420 debe utilizarse cuando se vaya a realizar un temple y revenido posterior para obtener la misma dureza en la soldadura y en el metal base.

© 2023 Aperam Stainless Europe. FT_MA2 - MA3 - MA3M - MA4 - MA5.es. Hemos aportado el máximo cuidado para que las informaciones contenidas en esta publicación sean lo más exactas posibles, pero Aperam Stainless Europe, como cualquier otra sociedad del grupo Aperam no puede garantizar el carácter exhaustivo ni la ausencia de errores. **www.arthemis.eu**