

## Offre acier inoxydable martensitique

# Nuances MA2 - MA3 - MA3M - MA4 - MA5



## Compositions chimiques

Nuances	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

Valeurs indicatives (% en poids)

MA2	MA3	MA3M	MA4	MA5
Désignation européenne <sup>(1)</sup>				
1.4021	1.4028	1.4419 *	1.4034	-
Désignation américaine <sup>(2)</sup>				
AISI 420	AISI 420	-	-	-

<sup>(1)</sup> Selon la norme EN 10088 - <sup>(2)</sup> Selon la norme ASTM A 176 - \* Assimilé

Ces nuances sont conformes avec :

- > La fiche de donnée sécurité Stainless Europe : aciers inoxydables (Directive européenne 2001/58/EC)
- > La directive européenne 2013/28/UE relative aux véhicules hors d'usage et à son annexe II du 27 juin 2002
- > La norme NFA 36 711 « Acier inox destinés à entrer au contact des denrées, produits et boissons pour l'alimentation de l'homme et des animaux » (hors emballage)
- > La NSF/ANSI 51 Standard pour « Matériaux pour équipements alimentaires » et celles de la F.D.A. (United States Food and Drug Administration) portant sur les matériaux utilisés en contact avec les aliments
- > Le décret français n° 92-631 daté du 8 juillet 1992 et la Réglementation n° 1 935/2004 du Parlement européen et du conseil du 27 octobre 2004 sur les matériaux et articles prévus pour être au contact de la nourriture
- > L'arrêté français en date du 13 janvier 1976 portant sur les matériaux et articles fabriqués en acier inoxydable entrant au contact des denrées alimentaires

- > La recommandation de l'EDQM (European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare); Ouvrage «Metals and alloys used in food contact materials and articles - A practical guide for manufacturers and regulators - 1<sup>st</sup> edition 2013»

## Caractéristiques générales

La caractéristique de ces nuances martensitiques est leur capacité à être durcies par traitement thermique. Ainsi, dans l'état trempé et revenu, elles atteignent de hauts niveaux de résistance permettant la réalisation d'un tranchant. Combinée avec leur bonne résistance à la corrosion, cette aptitude répond aux exigences de nombreuses applications.

## Applications

- > Lames pour couteaux et ustensiles divers de préparation des aliments
- > Lames pour équipements industriels
- > Outils de coupe
- > Pièces mécaniques et outils divers

Pour les lames de couteaux de cuisine et ustensiles utilisés dans la préparation des aliments, la nuance MA3M contenant du molybdène et la nuance MA5 à haute teneur en chrome sont préconisées en raison de leur résistance à la corrosion améliorée et de la possibilité d'obtenir des niveaux de dureté élevés à l'état trempé et revenu.

## Possibilités de livraison

### Produits recuits

**Formes :** feuilles, bobines, feuillards

**Épaisseurs :** de 0,4 jusqu'à 6 mm

**Largeur :** selon l'épaisseur, jusqu'à 1000 mm maximum

**Présentations :** laminé à froid, laminé à chaud, selon l'épaisseur

### Produits écrouis

Classe d'écrouissage C700 - C850

## Caractéristiques physiques

### Tôle laminée à froid

Densité	d		4 °C	7,7
Température de fusion	Tf	°C		1400 à 1420
Capacité thermique massique	c	J/kg.K	20 °C	460
Conductivité thermique	k	W/m.K	20 °C 200 °C	30 31
Coefficient moyen de dilatation	α	10 <sup>-6</sup> /K	20-200 °C 20-400 °C	11 12
Résistivité électrique	ρ	Ω.m	20 °C	6,2.10 <sup>-7</sup>
Perméabilité magnétique relative	μ	pour H=800 A/m	20 °C	700
Module de Young	E	GPa	20 °C	215

## Caractéristiques mécaniques

### Après recuit (état de livraison)

Selon la norme ISO 6892-1, partie 1

Éprouvette perpendiculaire au sens de laminage.

Lo : 80 mm (épaisseur < 3 mm), 5.65 √ So (épaisseur ≥ 3 mm)

Nuances	Rm <sup>(1)</sup> (MPa)	Rp <sub>0,2</sub> <sup>(2)</sup> (MPa)	A <sup>(3)</sup> %	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

Valeurs typiques - <sup>(1)</sup>Résistance à la rupture (Rm) - <sup>(2)</sup>Limite d'élasticité (Rp<sub>0,2</sub>) - <sup>(3)</sup>Allongement (A)

### Après austénitisation, trempe et revenu

Nuances	Selon EN 10088 <sup>(4)</sup>		Valeurs typiques <sup>(5-6)</sup>	
	HRC	HV	HRC	HV
MA2	44 à 50	440 à 530	52	546
MA3	45 à 51	450 à 550	54	585
MA3M	-	-	57	636
MA4	49 à 55	510 à 610	56	609
MA5	-	-	58	653

<sup>(4)</sup> Austénitisation 950-1050 °C pour MA2 et MA3, 1000-1100 °C pour MA4 et revenu 200-350 °C.

<sup>(5)</sup> Austénitisation 10 minutes à 1025 °C - Refroidissement air soufflé jusqu'à 20 °C - Revenu 1h à 180 °C.

<sup>(6)</sup> Valeurs non garanties car obtenues après traitement thermique en laboratoire en considérant la température du métal et non celle du four.

## Traitement thermique

L'état de livraison est un état recuit avec une structure ferrite et carbures.

Les aciers inoxydables martensitiques possèdent une grande résistance mécanique après traitement thermique complet comprenant une austénitisation, un refroidissement rapide et un revenu.

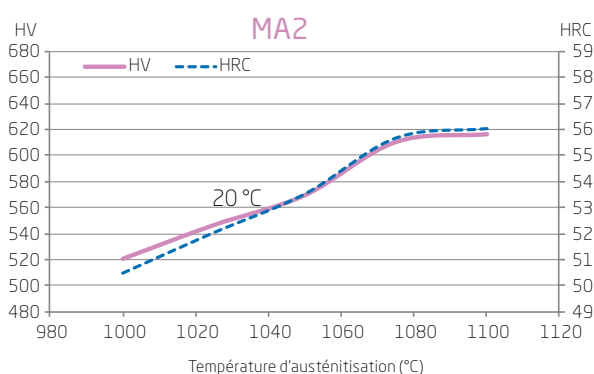
Le traitement recommandé est une austénitisation avec un maintien de 10 minutes à 1025 °C - 1050 °C suivi d'un refroidissement en moins de 1 minute jusqu'à 20 °C sous atmosphère réductrice d'azote et d'hydrogène puis d'un revenu de 1 heure à 180 °C. Il s'agit des conditions thermiques sur pièce. Une charge avec un recouvrement excessif des pièces entre elles est à éviter car elle rendra plus difficile le respect de ces conditions et pourra dégrader en conséquence la tenue à la corrosion et le niveau de dureté des pièces.

Une température d'austénitisation inférieure à 1025 °C est possible mais elle conduira à une dureté plus faible. À l'inverse une température d'austénitisation plus élevée que 1050 °C, sans dépasser 1100 °C, permettra d'augmenter les duretés des nuances martensitiques mais elle nécessitera impérativement pour la nuance MA5 d'effectuer un passage par le froid pour réduire le taux d'austénite résiduelle.

La température de revenu peut être légèrement augmentée jusqu'à 225 °C pour améliorer la résilience mais au détriment de la dureté. Il est par contre déconseillé de la baisser en dessous de 180 °C au risque de fragiliser la pièce.

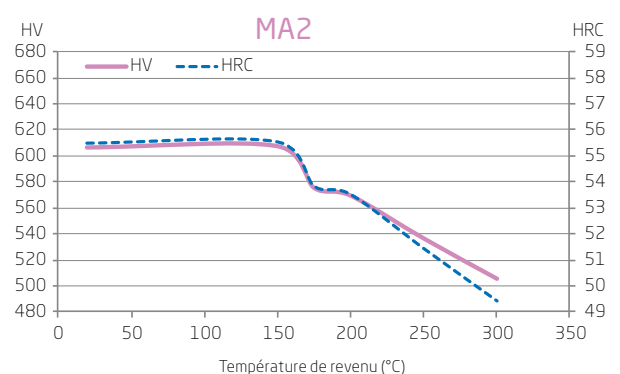
### Influence de la température d'austénitisation sur la dureté

Austénitisation, trempe à 20 °C ou -80 °C puis revenu 1h à 180 °C



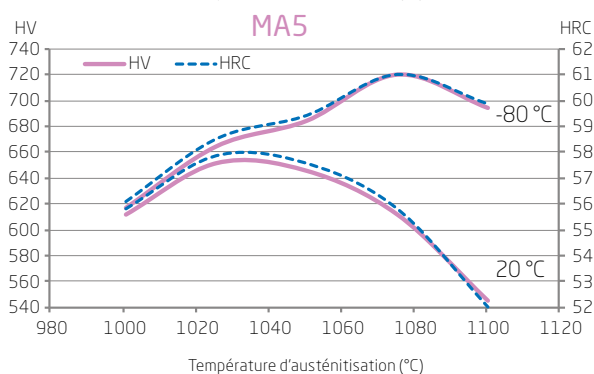
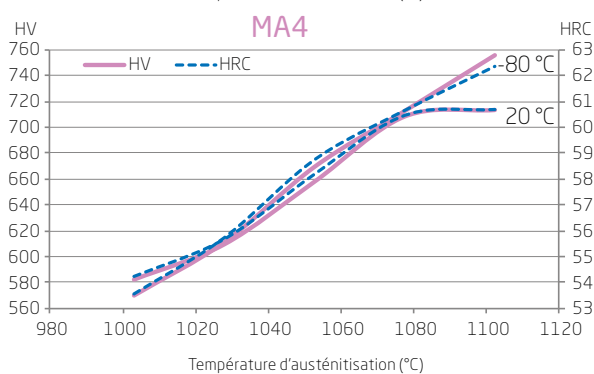
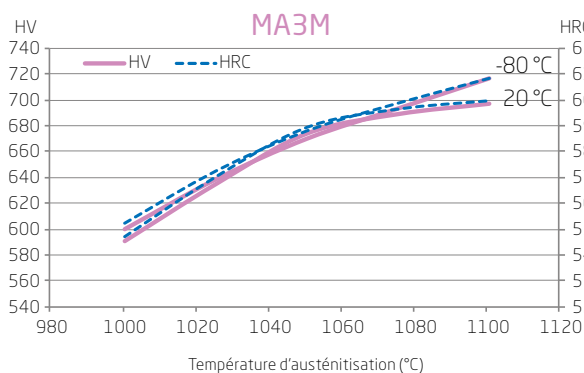
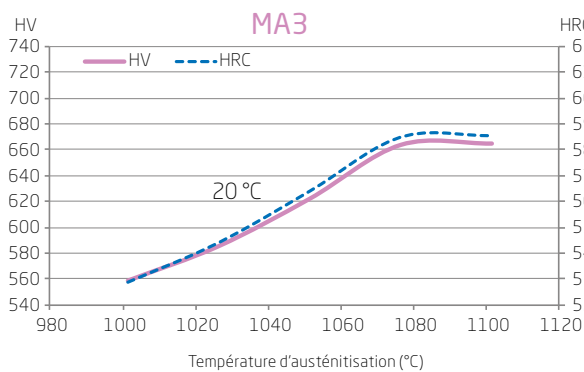
### Influence de la température de revenu sur la dureté

Austénitisation 1050 °C, trempe à 20 °C puis revenu



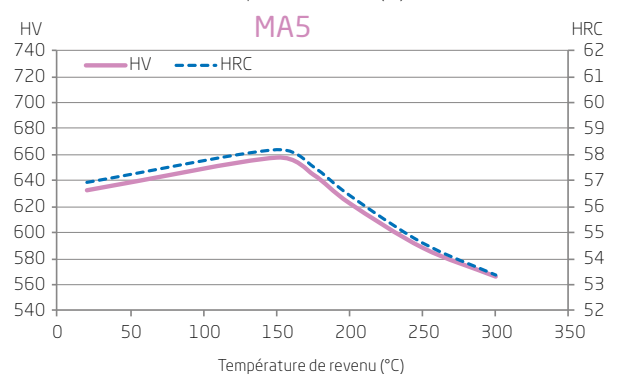
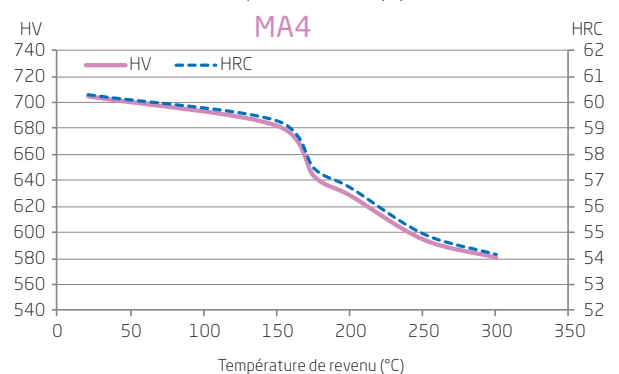
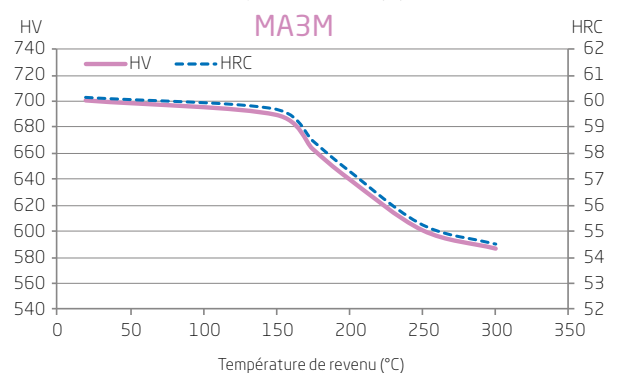
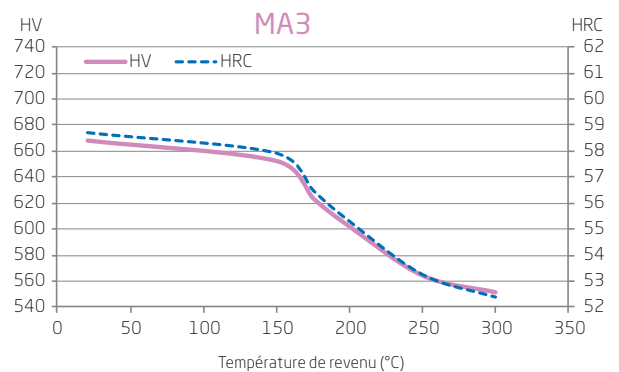
## Influence de la température d'austénitisation sur la dureté

Austénitisation, trempe à 20 °C ou -80 °C puis revenu 1h à 180 °C



## Influence de la température de revenu sur la dureté

Austénitisation 1050 °C, trempe à 20 °C puis revenu



## Résistance à la corrosion

La résistance à la corrosion dépend des conditions de trempe et revenu employées et principalement de la vitesse de refroidissement après austénitisation.

En-dessous de la vitesse critique de refroidissement, de l'ordre de 10 °C/s, une perte de la résistance à la corrosion par piqûres est observée, liée à la précipitation de carbures et de nitrures de chrome conduisant à un appauvrissement en chrome autour des précipités. En pratique, cela signifie qu'un simple refroidissement à l'air est à proscrire, et qu'un refroidissement sous gaz réducteur pulsé ou une trempe à l'huile doit être réalisé. Une température de revenu supérieure à 300 °C est aussi à proscrire car elle conduit à la précipitation de carbures et de nitrures de chrome.

De plus, le chauffage localisé dû à des opérations de finition tels que le meulage, l'affûtage, le polissage ou le cannelage ne doit pas induire des températures plus élevées que celle recommandée pour le revenu.

## Résistance à la corrosion (suite)

Enfin, l'état de surface est un autre facteur qui peut affecter la résistance à la corrosion : en cas de polissage, une surface à faible rugosité est toujours préférable.

La résistance à la corrosion dépend de la composition chimique des différentes nuances d'acier inoxydable martensitique. Les éléments chimiques favorables sont le chrome, le molybdène et l'azote et l'élément chimique défavorable est le carbone de part son aptitude à consommer du chrome sous la forme de carbures de chrome non complètement dissouts lors de l'austénitisation. La formule suivante rend correctement compte

de l'effet de ces éléments chimiques sur la résistance à la corrosion : % Cr + 3,3 % Mo + 16 % N - 5 % C.

La sensibilité à la corrosion par piqûre est mesurée à l'aide d'un test électrochimique de multipiqûres qui permet d'accéder au potentiel de piqûre. Plus le potentiel de piqûre est élevé, plus la nuance résiste bien à la corrosion par piqûre.

On distingue ainsi les aciers martensitiques à résistance modérée à la corrosion que sont le MA2, le MA3 et le MA4 des aciers martensitiques à bonne résistance à la corrosion que sont le MA3M et le MA5.

Résistance à la corrosion	MA4	MA3	MA2	MA3M	MA5
% Cr + 3,3 % Mo + 16 % N - 5 % C	12,0	12,6	12,7	16,2	16,7
Potentiel de piqûre $E_{0,1}$ (mV/ECS) - NaCl 0.02M, 23 °C, pH 6.6	300 à 350	300 à 350	300 à 350	420	470

## Soudage

Certaines précautions sont nécessaires lors du soudage des aciers inoxydables martensitiques, à cause de la transformation martensitique qui a tendance à provoquer des fissures (parfois différées) à des températures inférieures à 400 °C. Il est recommandé de préchauffer les pièces autour de 200 °C avant de les souder.

Dans les procédés de soudage nécessitant l'utilisation de gaz de protection (TIG, MIG, plasma), l'utilisation de l'hydrogène et de l'azote est strictement interdite. Les aciers inoxydables martensitiques peuvent être assemblés par soudage par points et par soudage à la molette, mais aussi par soudure à l'arc.

Un traitement thermique de post-soudage est recommandé pour les nuances dont la teneur en carbone est supérieure à 0,2 %.

**Lorsque le soudage est effectué sans métal d'apport**, les traitements thermiques post-soudure suivants peuvent être utilisés :

- > Adoucissement entre 650 et 800 °C mais dans ce cas, la résistance à la corrosion est dégradée
- > Austénitisation à 1025 °C, suivi d'un revenu à 180 °C

**Lorsque le soudage est effectué avec un métal d'apport**, le choix se situe entre :

- > Un alliage ayant la même composition que le métal de base (soudage homogène avec électrode AWS 420 ou fil), avec un traitement thermique post-opératoire tel que ci-dessus si l'on souhaite obtenir la même dureté de la soudure et du métal de base
- > Un alliage de composition différente de la base métallique (soudage hétérogène avec électrode ou fil austénitique de type ER 308L, 309L ou 316L suivant norme EN-ISO 14343), mais on devra toujours appliquer un traitement thermique post-opératoire afin d'éviter la fragilisation de la Z.A.T (Zone Affectée Thermiquement)

### Décapage

Les soudures doivent être décapées et repassivées pour retrouver la résistance à la corrosion du métal de base.

Le décapage peut se faire en bain ou localement à l'aide de pâtes spécifiques adaptées aux aciers inoxydables.

Pour le décapage, un mélange d'acide nitrique et d'acide fluorhydrique peut être utilisé (15 % HNO<sub>3</sub> + 1 % HF).

Pour la passivation de l'acide nitrique à 25 % peut être utilisé (2h à 20 °C ou 10 min à 50 °C) suivi d'un rinçage abondant à l'eau froide (Norme EN-ISO 14343).

Soudage	Sans apport		Avec apport de métal		Gaz de protection
	Épaisseurs typiques	Épaisseurs	Métal d'apport		Hydrogène et azote interdits dans tous les cas
			Barre	Fil	
Résistance : Point, Molette	≤ 2 mm				
TIG	≤ 1,5 mm	> 0,5 mm	ER 309 L (Si) ER 420 <sup>(1)</sup>	ER 309 L (Si) ER 420 <sup>(1)</sup>	Ar, Ar + He
PLASMA	≤ 1,5 mm	> 0,5 mm		ER 309 L (Si) ER 420 <sup>(1)</sup>	Ar
MIG		> 0,8 mm		ER 309 L (Si) ER 420 <sup>(1)</sup>	Ar + 2 % CO <sub>2</sub> ou Ar + 2% O <sub>2</sub>
S.A.W.		> 2 mm		ER 309 L (Si) ER 420 <sup>(1)</sup>	
Électrode		Réparations	ER 309 L (Si) ER 420 <sup>(1)</sup>		
Laser	≤ 5 mm				He

<sup>(1)</sup> Le métal d'apport homogène ER 420 doit être utilisé lors de la trempe ultérieure et du revenu afin d'obtenir la même dureté de la soudure et du métal de base.