

CLASSIFICATION DES ALLIAGES D'ALUMINIUM

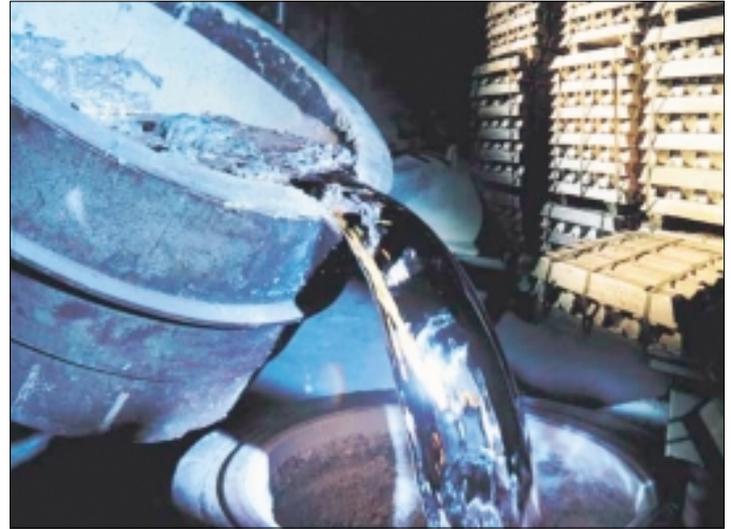
NOTICE D'INFORMATION SUR L'ALUMINIUM - 2ÈME PARTIE

Dans la première notice d'information sur l'aluminium (voir le numéro précédent), nous avons donné une introduction générale sur l'aluminium et les problèmes de soudage qui peuvent survenir.

La deuxième partie donne un aperçu des différentes sortes d'aluminium et ceci, selon les classifications américaines et européennes.

Il existe actuellement plus de 400 alliages d'aluminium (alliages corroyés) et plus de 200 alliages de fonderie. La meilleure façon de mieux connaître ces alliages est de se familiariser avec les différents systèmes utilisés pour classer ces matériaux.

Par *ir. R. Vennekens, EWE - Institut Belge de la Soudure*
ing. B. Verstraeten, IWE - Institut Belge de la Soudure
ing. K. Broeckx, EWE - Institut Belge de la Soudure
(Traduction: M.-C. Ritzen, Institut Belge de la Soudure)



Il existe actuellement plus de 400 alliages d'aluminium (alliages corroyés) et plus de 200 alliages de fonderie (Toutes les doc.: Marc Martens)

SYSTÈME AMÉRICAIN

En Amérique du Nord, l'Aluminium Association inc.

est responsable de la classification des alliages. Tant pour les alliages corroyés que pour les alliages de fonderie, il existe un livre reprenant les différents types d'alliage avec leur composition chimique et leurs propriétés.

Quand des alliages sensibles à la fissuration doivent être soudés, ces livres donnent également des informations très utiles.

Les alliages d'aluminium sont subdivisés en groupes sur base de leurs propriétés telles que traitement thermique et mécanique et éléments d'alliage principaux.

Les alliages (corroyés) sont désignés par un nombre de quatre chiffres et les alliages de fonderie

par un nombre de trois chiffres suivi d'un point et d'un chiffre indiquant s'il s'agit d'une pièce moulée ou d'un ingot.

Désignation des alliages d'aluminium (corroyés)

Le premier chiffre indique l'élément d'alliage le plus important (Xxxx).

Il est également utilisé pour désigner les différentes séries d'alliages d'aluminium telles que séries 1000, 2000 jusque 8000 (voir tableau 3).

Le deuxième chiffre (xXxx), s'il n'est pas nul, indique s'il y a eu modification de l'alliage spécifique. Les troisième et quatrième chiffres identifient un alliage spécifique dans la série.

Par ex. pour l'alliage 5183, le chiffre 5 indique qu'il s'agit d'un alliage de magnésium, le chiffre 1 indique qu'il s'agit de la première

modification par rapport à l'alliage originel 5083 et le nombre 83 identifie l'alliage dans la série 5xxx.

La seule exception dans ce système est la série 1xxx (aluminium pur) où les deux derniers chiffres donnent la teneur en aluminium minimale au-dessus de 99 %.

L'alliage 1350 contient donc au moins 99,50 % d'aluminium.

Désignation des alliages de fonderie

Ce système contient trois chiffres plus une décimale (par ex. 356.0). Le premier chiffre (Xxx.x) désigne l'élément d'alliage principal (Tableau 4).

Les deuxième et troisième chiffres identifient l'alliage spécifique.

Le chiffre après le point indique s'il s'agit d'une pièce moulée (.0) ou d'un ingot (.1 ou .2).

Désignation des traitements thermiques des alliages d'aluminium

Il existe des différences importantes dans les propriétés des différentes séries d'alliages d'aluminium ce qui a également une influence sur leur application.

Il existe deux catégories totalement différentes parmi les séries surnommées: les alliages susceptibles de durcissement par traitement thermique et les alliages non susceptibles de durcissement. Cette distinction est très importante

LES ALLIAGES D'ALUMINIUM SONT SUBDIVISÉS EN GROUPES SUR BASE DE LEURS PROPRIÉTÉS TELLES QUE TRAITEMENT THERMIQUE ET MÉCANIQUE ET ÉLÉMENTS D'ALLIAGE PRINCIPAUX

Tableau 3: Désignation des alliages d'aluminium corroyés

Tableau 4: Désignation des alliages d'aluminium de fonderie

SÉRIES D'ALLIAGES	ÉLÉMENTS D'ALLIAGES PRINCIPAUX
1XXX	99% d'aluminium minimum
2XXX	cuivre
3XXX	manganèse
4XXX	silicium
5XXX	magnésium
6XXX	magnésium et silicium
7XXX	zinc
8XXX	autres éléments

SÉRIES D'ALLIAGES	ÉLÉMENTS D'ALLIAGES PRINCIPAUX
1XX.X	99% d'aluminium minimum
2XX.X	cuivre
3XX.X	silicium + cuivre et/ou magnésium
4XX.X	silicium
5XX.X	magnésium
6XX.X	n'existe pas
7XX.X	zinc
8XX.X	étain
9XX.X	autres éléments

quand on examine l'influence du soudage sur ces deux catégories de matériaux.

Les séries 1000, 3000 et 5000 ne peuvent être durcis que par écrouissage.

Les alliages des séries 2000, 6000 et 7000 sont susceptibles de durcissement par traitement thermique.

La série 4000 contient les deux catégories.

Les alliages de fonderie des séries 200, 300, 400 et 700 sont susceptibles de durcissement par traitement thermique.

L'écrouissage n'est généralement

pas utilisés sur ces alliages. Les alliages susceptibles de durcissement obtiennent leurs propriétés mécaniques optimales par traitements thermiques. Le plus utilisé est la trempe après mise en solution suivi d'un vieillissement artificiel.

Lors de la trempe après mise en solution, l'alliage est porté à une température de ± 280 °C afin d'avoir une mise en solution des éléments d'alliage.

On réalise ensuite une trempe (souvent dans de l'eau) et on obtient ainsi une solution sursaturée à température ambiante.

On applique ensuite souvent un traitement de vieillissement qui provoque une précipitation d'une partie des éléments d'alliage pour obtenir ainsi les propriétés souhaitées.

Il existe deux types de processus de vieillissement: premièrement, le vieillissement naturel qui se passe à température ambiante et deuxièmement, le vieillissement artificiel qui se produit à température plus élevée.

De nombreux alliages susceptibles de durcissement sont utilisés dans des constructions soudées à l'état trempé après mise en solution et vieilli artificiellement.

LES ALLIAGES SUSCEPTIBLES DE DURCISSEMENT PAR TRAITEMENT THERMIQUE ET LES ALLIAGES NON SUSCEPTIBLES DE DURCISSEMENT

Les alliages non susceptibles de durcissement atteignent leurs propriétés mécaniques optimales après écrouissage (la résistance augmente avec l'importance de l'écrouissage).

Le système pour la désignation du traitement thermique est repris au tableau 5.

Une série de lettres et de chiffres est ajoutée au nombre désignant l'alliage (ex. 6061-T6).

En plus de ces désignations de base (tableau 5), il y a encore deux subdivisions: l'une concerne la lettre H (écrouissage - tableau 6) et l'autre la lettre T (traitement thermique - tableaux 7a et 7b).

Les séries d'alliages d'aluminium et leurs propriétés

- Série 1000 (aluminium pur): Cette série ne peut pas être traitée thermiquement. La résistance à la traction varie de 69 à 186 N/mm². Elle a une excellente résistance à la traction dans un large domaine de température. Cette série est souvent désignée comme aluminium pur (min. 99,00 % Al). Ces alliages sont soudables mais ont un faible intervalle de fusion de sorte que des procédures de soudage acceptables

demandent quelque attention. Comme ces alliages ont des propriétés mécaniques relativement faibles, ils sont rarement utilisés dans les constructions. Ils sont cependant utilisés en raison de leur résistance élevée à la corrosion et leur bonne conductibilité électrique. Ces alliages sont soudés avec un métal d'apport en aluminium pur ou de la série 4000 (alliage de silicium).

- Série 2000 (alliage de Cu): Ces alliages peuvent être traités thermiquement. La résistance à la traction varie de 186 à 427 N/mm². Ce sont des alliages d'aluminium-cuivre (0,7 - 6,8 %) à résistance élevée, souvent utilisés dans l'industrie aéronautique et spatiale. Certains de ces alliages sont considérés comme non soudables (fissuration à chaud et sensibilité à la corrosion sous tension). D'autres peuvent être soudés avec des procédés de soudage à l'arc quand on suit une procédure de soudage correcte. Comme métal d'apport, on utilise la série 2000 (si on exige la même résistance) ou la série 4000 (avec du silicium ou aluminium et cuivre) en fonction de l'application. Certains alliages "non soudables" sont soudés avec succès avec le procédé Friction Stir.

- Série 3000 (alliage de Mn): Ce sont des alliages aluminium-manganèse (0,05 - 1,8 % Mn). La résistance maximale à la traction est de 110 à 283 N/mm². Ce sont des alliages ayant une résistance modérée avec une bonne résistance à la corrosion et une bonne capacité de mise en œuvre et pouvant être utilisés à haute température (casserolles et poêles, échangeurs de chaleur, ...). Ces alliages peuvent être soudés avec un métal d'apport de la série 1000 (à déconseiller), la série 4000 et la série 5000, en fonction de la composition et de l'application.

- Série 4000 (alliage de Si): C'est la seule série qui contient des alliages susceptibles de durcissement par traitement thermique et non susceptibles de durcissement. Ce sont des alliages aluminium-silicium (0,6 - 21,5 % Si). Quand on allie du silicium à de l'aluminium, on a un point de fusion plus faible et une meilleure fluidité à l'état fondu. Ces propriétés sont souhaitables tant pour le soudage que pour le brasage. Quand on ajoute un peu de silicium, l'alliage n'est pas susceptible de durcissement par traitement thermique. Ces alliages avec du magnésium ou du cuivre, en plus du silicium, peuvent être trempés après mise en solution. Ces métaux d'apport ne peuvent être appliqués que quand la construction soudée est ensuite traitée thermiquement.

- Série 5000 (alliage de Mg):

LETTRE	SIGNIFICATION
F	Etat brut de fabrication - Cette désignation est d'application pour les produits n'ayant subi aucun contrôle spécial en ce qui concerne les conditions thermiques ou de durcissement.
O	Etat recuit - D'application pour les produits ayant subi un traitement thermique ce qui donne les propriétés de résistance les plus faibles afin d'améliorer la ductilité et la stabilité dimensionnelle.
H	Etat durci par écrouissage - D'application pour les produits écrouis par déformation à froid qui peut être suivie d'un traitement thermique ce qui diminue la résistance en partie. La lettre H est toujours suivie de deux chiffres (voir tableau 6)
W	Etat trempé après mise en solution - État instable qui n'est appliqué que sur des alliages qui vieillissent spontanément à température ambiante.
T	Etat traité thermiquement - Afin d'avoir un état stable après recuit (autre que F, O et H). D'application pour des produits traités thermiquement, parfois avec un écrouissage supplémentaire, afin d'avoir un produit stable. La lettre T est toujours suivie d'un ou plusieurs chiffres (voir Tableaux 7a et 7b).

Tableau 5: Désignation de l'état de livraison



Les alliages aluminium-manganèse (0,05 - 1,8 % Mn) peuvent être utilisés à haute température (casserolles et poêles, échangeurs de chaleur, ...)

Tableau 6: Subdivisions de H - écrouissage

Le premier chiffre après H désigne le traitement de base	
H1 - uniquement écroui	H3 - écroui et stabilisé
H2 - écroui et partiellement recuit	H4 - écroui et verni ou laqué
Le deuxième chiffre après H désigne le degré d'écrouissage	
HX2 - 1/4 dur	HX8 - 4/4 dur (pleinement écroui)
HX4 - 1/2 dur	HX9 - extra dur
HX6 - 3/4 dur	

Ce sont des alliages d'aluminium-magnésium (0,2 - 6,2 % Mn) ayant une résistance à la traction de 125 à 352 N/mm². Ils ne sont pas susceptibles de durcissement par traitement thermique et ont la résistance la plus élevée de ce groupe. Ces alliages sont très soudables et peuvent donc être utilisés pour diverses applications. Ces alliages sont souvent soudés avec des métaux d'apport choisis sur base de la composition du métal de base et de l'application. Les alliages de cette série ayant plus de 3 % Mg ne peuvent être utilisés au-dessus de 65 °C car ils



La meilleure façon de mieux connaître les alliages est de se familiariser avec les différents systèmes utilisés pour classer ces matériaux

chimique et forme des produits corroyés - Partie 2 : système de désignation fondé sur les symboles chimiques.
 EN 573-3: Aluminium et alliages d'aluminium - Composition chimique et forme des produits corroyés - Partie 3 : composition chimique.
 EN 573-4: Aluminium et alliages d'aluminium - Composition chimique et forme des produits corroyés - Partie 4 : forme des produits.

Base pour la codification

La désignation de l'aluminium et des alliages d'aluminium se fait sur base des symboles chimiques souvent suivis de chiffres donnant la pureté de l'aluminium ou la teneur nominale de l'élément en question. Ces données sont reprises dans l'EN 573-3.

Normalement, ces indications sont placées entre crochets après le quatrième chiffre.

La désignation peut être précédée des lettres AW: A pour aluminium et W pour "wrought" (alliage corroyé).

Exemples:

Désignation normale: EN AW-5052 ou EN AW-5052[AlMg2,5]

Désignation spéciale: EN AW-AlMg2,5.

Codification pour les alliages (corroyés) d'aluminium non alliés

Le symbole Al est suivi de la teneur en aluminium pur avec une ou deux décimales.

Exemples: EN AW-1199[Al 99,99] ou EN AW-1070[Al 99,7]

Quand on ajoute une faible teneur d'un élément, le symbole de celui-ci suit la teneur en aluminium pur.

Exemple: EN AW-1100[Al 99,0Cu].

LE SYSTÈME EUROPÉEN POUR LA CLASSIFICATION DES ALLIAGES D'ALUMINIUM EST COMPARABLE AU SYSTÈME AMÉRICAIN ET EST DÉCRIT DANS L'EN 573 POUR LES ALLIAGES CORROYÉS

peuvent alors devenir sensibles à la corrosion sous tension. Les alliages ayant moins de 2,5 % Mg peuvent être soudés avec des métaux d'apport des séries 5000 et 4000. Avec plus de 2,5 Mg, seule la série 5000 peut être utilisée comme métal d'apport avec une composition appropriée au métal de base.

- Série 6000 (alliage de Mg-Si): Les alliages de cette série sont susceptibles de durcissement par traitement thermique.

La résistance à la traction varie de 125 à 400 N/mm². Ce sont des alliages d'aluminium-magnésium-silicium (Mg et Si = ±1%) qui sont souvent utilisés dans des

applications soudées. La plupart sont des produits extrudés. Ces alliages sont sensibles à la fissuration à chaud et doivent donc être soudés avec suffisamment de métal d'apport. Un métal d'apport des séries 4000 ou 5000 peut être utilisé.

- Série 7000 (alliage de Zn): Ce sont des alliages d'aluminium-zinc (0,8 - 12 % Zn) susceptibles de durcissement par traitement thermique avec une résistance variant de 220 à 605 N/mm². Ils appartiennent aux alliages d'aluminium ayant la résistance la plus élevée. Comme pour la série 2000, certains sont considérés comme non soudables avec des procédés de soudage à l'arc, les autres bien. Les alliages soudables, comme par exemple les alliages

7000, peuvent être soudés avec des métaux d'apport de la série 5000.

SYSTÈME EUROPÉEN

Le système européen pour la classification des alliages d'aluminium est comparable au système américain et est décrit dans l'EN 573 pour les alliages corroyés.

EN 573-1: Aluminium et alliages d'aluminium - Composition chimique et forme des produits corroyés - Partie 1 : système de désignation numérique.

Cette norme fait partie d'une série de quatre normes.

Les autres normes sont:

EN 573-2: Aluminium et alliages d'aluminium - Composition

Tableau 7a: Subdivisions de T - traitements thermiques

T1	refroidi après transformation à chaud et mûri
T2	refroidi après transformation à chaud, écroui et mûri
T3	mis en solution, écroui et mûri
T4	mis en solution et mûri
T5	refroidi après transformation à chaud puis revenu
T6	mis en solution puis revenu
T7	mis en solution puis sur-revenu
T8	mis en solution, écroui puis revenu
T9	mis en solution, revenu puis écroui
T10	écroui après refroidissement et transformation à chaud et mûri
Des chiffres complémentaires indiquent que des traitements ont été appliqués (diminution des tensions propres)	
TX51 ou TXX51	- diminution des tensions par détensionnement par traction
TX52 ou TXX52	- diminution des tensions par détensionnement par compression

Tableau 7b: Subdivisions de T - Traitements thermiques dans l'ordre chronologique

	Mise en solution	Transformation à chaud	Ecrouissage	Vieillessement naturel	Vieillessement artificiel	Ecrouissage
T1		X		X		
T2		X	X	X		
T3	X		X	X		
T4	X			X		
T5		X			X	
T6	X				X	
T7	X				X*	
T8	X		X		X	
T9	X				X	X
T10		X	X		X	

* survenu = stabilisé

Résistance minimale à la traction à l'état recuit Mpa	Jusque 40	Augmentation minimale de la résistance min. à la traction afin d'atteindre l'état Hx8	55
	45 – 60		65
	65 – 80		75
	85 – 100		85
	105 – 120		90
	125 – 160		95
	165 – 200		100
	205 – 240		105
	245 – 280		110
	285 – 320		115
325 et plus	120		

l'état Hx8, en partant de la résistance minimale à la traction à l'état recuit. (Voir tableau 8)

Indication des traitements thermiques

Celle-ci est analogue au système américain et est décrite en détail dans la norme EN 515 - Aluminium et alliages d'aluminium - Produits corroyés - Désignation des états métallurgiques.

QUELQUES ALLIAGES D'ALUMINIUM FORT UTILISÉS

Le tableau 9 reprend les alliages d'aluminium les plus courants avec leur composition. Les anciennes dénominations françaises et allemandes y sont mentionnées pour information. □

A l'aide du tableau 8, on peut déduire la résistance minimale à la traction de l'état Hx8, en partant de la résistance minimale à la traction à l'état recuit

Codification des alliages d'aluminium (corroyés)

L'alliage est désigné par Al suivi par les principaux éléments d'alliage avec indication de la teneur de l'élément. On ajoute quatre éléments au maximum.

Exemples: EN AW-2014[Al Cu4SiMg] ou EN AW-7050[Al Zn6CuMgZr]. On ajoute parfois une lettre pour des applications spéciales.

Exemple: EN AW-1350[EAl 99,5] - applications électriques.

Codification des alliages de fonderie

Celle-ci est comparable au système américain.

Indication de la dureté (H)

Celle-ci est également comparable au système américain. Le deuxième chiffre après H donne le degré d'érouissage; Hx8 est la dureté la plus élevée obtenue dans une production normale. A l'aide du tableau 8, on peut déduire la résistance minimale à la traction de

Ir. R. Vennekens, EW, Fweldl - Institut Belge de la Soudure



BIBLIOGRAPHIE

- NIL - "Laskennis opgefrist"
Traduction de "Job knowledge for Welders" de TWI Connect par Co van der Goes, Rédaction Lastechniek
- "Understanding Aluminium Alloys"
Welding Journal, avril 2002, pp. 77-80
- Aluminiumcentrum (Nederland)
Het lassen van aluminium (I) Algemeen
Het lassen van aluminium (II) TIG-lassen
Het lassen van aluminium (III) MIG-lassen
Het lassen van aluminium (IV) Weerstandlassen
- "Fouten bij het lassen van aluminium en hoe ze te voorkomen"
R. Vennekens, Lastijdschrift/Revue de la Soudure 3/2000, pp. 4-13
- "Slimme constructie werkt kostenbesparend"
H. Lammertz, H. Brantsma, EWE, Aluminium 4/98, pp. 27-29
- "Combinatie van laser en plasmaboog"
Lastechniek, novembre 1998, pp. 9-12
- "Lasmetallurgie der metalen buiten het ijzer"
Prof. dr.ir. E. Wettinck, Laboratoire Métallurgie Non Ferr., RUG
Welding Handbook Vol. 3, part 1, Materials and Applications, 8th Ed., 1996
American Welding Society, pp. 1-120
- "Het lassen van aluminium en aluminiumlegeringen"
R. De Mulder (ESAB) - Conférences Technologiques IBS
- "Het lassen van aluminium en aluminiumlegeringen"
R. Vennekens, B. Verstraeten "BIL Workshops 2000"
- "Porositeit bij het lassen van aluminium - Technische Gegevens"
- EN 573-1: Aluminium and aluminium alloys - Chemical composition and form of wrought products - Part 1: Numerical designation system
EN 573-2: Aluminium and aluminium alloys - Chemical composition and form of wrought products - Part 2: Chemical symbol based designation system
EN 573-3: Aluminium and aluminium alloys - Chemical composition and form of wrought products - Part 3: Chemical composition
EN 573-4: Aluminium and aluminium alloys - Chemical composition and form of wrought products - Part 4: Forms of products.
- EN 515 - Aluminium and aluminium alloys - Wrought products - Temper Designations

Le tableau 9 reprend les alliages d'aluminium les plus courants avec leur composition

TYPE	A.A. U.S.A.	AFNOR France	DIN Allemagne	COMPOSITION					
				Mg	Si	Mn	Cu	Zn	Al
Non durcissable	1.100	A4	Al 99			0,05	0,20	0,10	99%
	3.003	AM1	AlMn		0,6	1 – 1,5	0,05 – 0,2	0,10	R
	4.043	A S 5	AlSi5	0,05	4,5 – 6	0,05	0,30	0,10	R
	5154 (5554)	A G 5	AlMg3	3,1 – 3,9	< 0,45	0,10	0,10	0,20	R
	5056 (5183) (5556)	A G 5	AlMg5	4,5 – 5,6	0,30	0,05 – 0,20	0,10	0,10	R
	5083	AG4MC	AlMg4,5Mn	4 – 4,9	0,40	0,3 – 1	0,10	0,25	R
Durcissable	2014	AU4SG	AlCuSiMn	0,2 – 0,8	0,5 – 1,2	0,4 – 1,2	3,9 – 5	0,25	R
	2017	AU4G	AlCuMg1	0,2 – 0,8	0,8	0,4 – 1	3,5 – 4,5	0,25	R
	2024	AU4G1	AlCumg2	1,2 – 1,8	0,5	0,3 – 0,9	3,8 – 4,9	0,25	R
	7005	AZ5G	AlZnMg1	1,5	0,4	0,5	0,20	4,5	R
	7075	AZ5GU	AlZnMgCu 1,5	2,5	0,4	0,30	1,6	5,6	R
	6063	AGS	AlMgSi 0,5	0,4 – 0,9	0,2 – 0,6	0,10	0,10	0,10	R
	6351	ASGM	AlMgSi 1	0,4 – 0,8	0,7 – 1,3	0,4 – 0,8	0,10	-	
	6151	ASG	AlMgSi 0,8	0,45 – 0,8	0,6 – 1,2	0,20	0,35	0,25	R