

//////////

ALUMINIUM ET ALLIAGES D'ALUMINIUM

Expertise éprouvée
en métallographie

NOTE D'APPLICATION



//////////

PRÉPARATION MÉTALLOGRAPHIQUE DE L'ALUMINIUM ET DES ALLIAGES D'ALUMINIUM

Contrairement à d'autres métaux connus de longue date, tels que le fer et le cuivre, l'aluminium est un métal relativement récent, qui n'est connu que depuis le début du XIXe siècle. En 1886, un procédé de production de l'aluminium, toujours utilisé aujourd'hui, a été mis au point : le procédé Hall-Héroult.

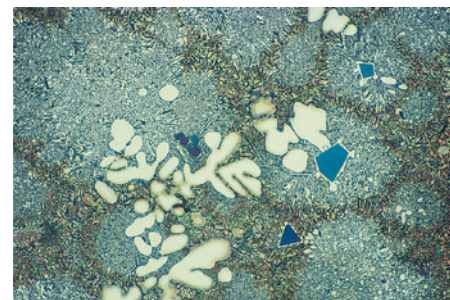
L'aluminium présente un aspect blanc argenté, est très léger et est utilisé, pur ou sous forme d'alliage, dans une multitude d'applications. De très faibles quantités d'éléments d'alliage suffisent à augmenter la résistance et, grâce à leur faible densité, les alliages d'aluminium sont particulièrement adaptés aux applications dans les industries aéronautique et aérospatiale. Les alliages d'aluminium sont également fréquemment utilisés dans l'industrie automobile afin de réduire le poids des véhicules.

La grande résistance à la corrosion de l'aluminium repose sur la présence d'une couche passive d'oxyde d'aluminium qui adhère étroitement à sa surface. Cette couche d'oxyde peut se reformer spontanément lorsque la surface est endommagée. L'aluminium se prête donc bien aux finitions polies et brossées ainsi qu'à l'anodisation dans différentes couleurs, ce qui en fait un matériau intéressant pour le secteur du bâtiment.

L'aluminium se caractérise également par une conductivité thermique élevée et une grande facilité de mise en forme, que ce soit par coulée, par travail à chaud ou à froid, ou par usinage. L'aluminium est non toxique et neutre au goût. Il constitue donc un matériau de choix pour les industries alimentaire et de l'emballage, notamment pour la fabrication de canettes et de feuilles, ainsi que de machines de boulangerie et de pompes à boissons.

De nouveaux alliages, tels que l'Al-Li et le Ti-Al, sont fabriqués par des procédés de métallurgie des poudres. L'aluminium est également utilisé comme matrice métallique dans les matériaux composites. Grâce à sa grande polyvalence, l'aluminium continuera à ouvrir la voie à de nouvelles applications.

La métallographie de l'aluminium est utilisée dans le cadre du contrôle qualité pour déterminer la taille des grains et détecter les défauts microstructuraux sur les échantillons polis et attaqués. De plus, l'échantillon est contrôlé afin de détecter d'éventuelles impuretés, telles que des oxydes ou des aluminures de zirconium (Fig. 2). Le matériau coulé est évalué en fonction de la forme et de la répartition des phases, ainsi que de la présence éventuelle de porosités. Dans les matériaux corroyés, on examine les défauts résultant des procédés de laminage et d'extrusion, et on mesure les épaisseurs de placage.



Alliage aluminium-silicium coulé, attaque colorante à l'acide molybdique.

200x



Difficultés de la préparation métallographique

L'aluminium pur est très tendre et sensible aux déformations mécaniques et aux rayures. Les particules de carbure de silicium et de diamant peuvent s'enfoncer dans la surface de l'échantillon (Fig. 1)

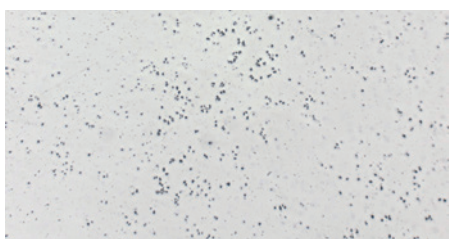


Fig. 1 : Particules de diamant incrustées dans l'aluminium pur après polissage à 3 µm.

Les alliages corroyés ayant subi une déformation importante sont difficiles à contraster

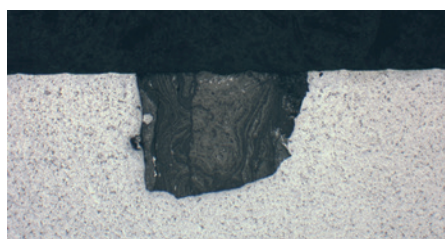


Fig. 2 : Oxyde à la surface d'une pièce en aluminium moulée sous pression.

50x

//////////

SOLUTION

- ✓ Prépolissage plan avec des feuilles/papiers SiC les plus fins possibles
- ✓ Le polissage diamanté et/ou le polissage final doivent être suffisamment longs pour éliminer toutes les particules incrustées
- ✓ Polissage final avec suspension de silice colloïdale
- ✓ Anodisation avec réactif de Barker

PRODUCTION ET APPLICATIONS DE L'ALUMINIUM

L'aluminium est l'un des métaux les plus abondants dans la croûte terrestre. Il ne se trouve pas à l'état pur dans la nature, mais sous forme de composés chimiques. Une extraction économiquement viable n'est possible qu'à partir de la bauxite, qui contient 60 % d'oxyde d'aluminium sous forme d'hydroxyde ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$), le reste étant constitué d'oxydes métalliques (Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2). Le procédé de production est complexe et énergivore. Il repose principalement sur deux étapes, brièvement décrites ci-dessous.

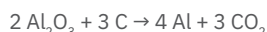
Extraction de l'alumine pure (oxyde d'aluminium, Al_2O_3) à partir de bauxite
L'extraction de l'alumine commence par le concassage et le broyage fin de la bauxite, puis par son traitement à chaud sous pression avec de l'hydroxyde de sodium. Ce procédé produit de l'aluminate de sodium hydrosoluble ainsi que des résidus insolubles contenant du fer, du titane et du silicium. Ces résidus, appelés « boues rouges », sont séparés par sédimentation. Des « germes cristallins » d'hydroxyde d'aluminium frais sont ajoutés à la solution d'aluminate de sodium fortement diluée afin d'amorcer la précipitation de l'hydroxyde d'aluminium pur ($\text{Al}(\text{OH})_3$). La calcination à 1 200 °C élimine l'eau de l'hydroxyde d'aluminium, ne laissant que de l'alumine anhydre pure (oxyde d'aluminium).

Procédé Hall-Héroult

Transformation de l'alumine en aluminium
La chimie de la réaction de l'alumine pure nécessite un procédé électrochimique pour extraire l'aluminium de son oxyde. Le point de fusion de l'oxyde d'aluminium étant très élevé (2 050 °C), celui-ci est mélangé à de la cryolite, qui abaisse le point de fusion à 950 °C. En outre, la cryolite augmente la conductivité et, par conséquent, améliore le rendement énergétique.

L'électrolyse a lieu dans une grande cuve en acier revêtue de carbone ou de graphite, qui contient des barres d'acier assurant le passage du courant électrique. Les parois et le fond revêtus de carbone constituent la cathode, tandis que le bain d'oxyde d'aluminium et de cryolite constitue l'électrolyte. Des blocs de carbone suspendus à un support au-dessus du bain de métal en fusion font office d'anodes. Pendant l'électrolyse, le carbone de l'anode réagit avec

L'oxygène de l'alumine réagit avec le carbone et, lors d'une réaction secondaire, de l'aluminium métallique est produit avec formation de dioxyde de carbone :



L'aluminium fondu a une densité supérieure à celle du bain électrolytique et se dépose au fond de la cuve. Il est soutiré une fois par jour et coulé en lingots. Ce procédé permet d'obtenir de l'aluminium d'une pureté de 99,0 à 99,9 %, dont la majeure partie est utilisée pour produire des alliages d'aluminium.

Une électrolyse supplémentaire permet d'obtenir un aluminium d'une pureté de 99,98 % pour les produits semi-finis et de 99,99 % pour les lingots. Cet aluminium pur présente une très grande résistance à la corrosion et se prête particulièrement bien à l'anodisation. Il est utilisé pour la fabrication de produits nécessitant un aspect brillant, tels que les éléments décoratifs, les réflecteurs, les feuilles pour condensateurs électrolytiques et les tubes destinés aux industries chimique et alimentaire. Plus le degré de pureté de l'aluminium est élevé, plus son coût augmente. Le degré de pureté utilisé est donc déterminé en fonction des exigences propres à chaque application. Le schéma illustre le cycle de l'aluminium et les différentes étapes de sa production. Les principaux produits sont des alliages corroyés destinés à la fabrication de produits semi-finis, contenant jusqu'à 2 % d'éléments d'alliage, et des alliages de fonderie contenant jusqu'à 15 % d'éléments d'alliage.

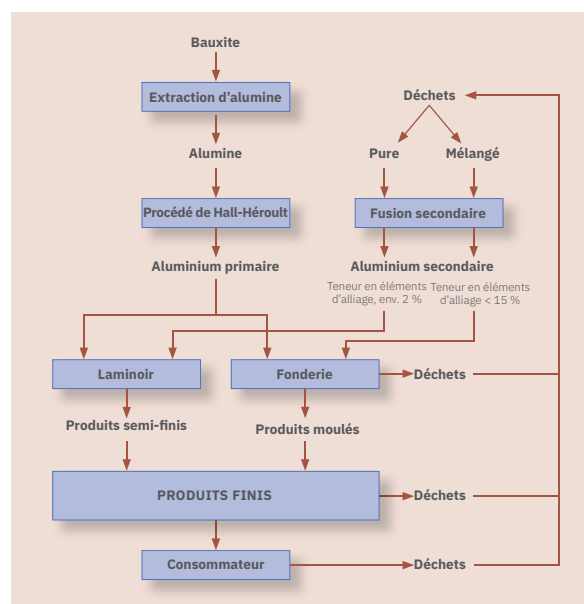


Schéma simplifié du processus de production de l'aluminium.

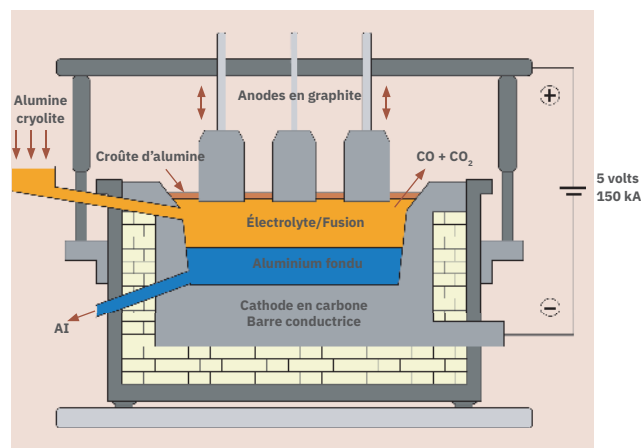


Schéma de l'électrolyse permettant de produire de l'aluminium pur.



Il existe de nombreux alliages d'aluminium, qui sont classés en deux catégories : les alliages corroyés et les alliages de fonderie. Ces deux catégories sont à leur tour subdivisées en alliages pouvant être traités thermiquement et en alliages ne pouvant pas l'être. L'ajout de très faibles quantités d'éléments d'alliage permet d'augmenter la résistance à la traction, la limite d'élasticité et la dureté par rapport à celles de l'aluminium pur. Les principaux éléments d'alliage sont le Si, le Mg, le Cu, le Zn et le Mn. Les combinaisons d'éléments d'alliage avec de l'aluminium ou les uns avec les autres (Mg_2Si , Al_2Cu , $MgZn_2$ et composés Al-Fe-Si) influencent l'aptitude du matériau à la mise en forme. Ces composés, pour la plupart eutectiques, doivent d'abord être finement dispersés par un travail à chaud avant que l'alliage puisse être travaillé à froid.

Le principal procédé utilisé pour améliorer les propriétés mécaniques des alliages d'aluminium est le durcissement structural. Il nécessite une solution solide dans laquelle la solubilité des éléments d'alliage diminue avec la baisse de la température, comme dans les alliages AlCuMg et AlMgSi.

Durcissement naturel par vieillissement (par exemple, AlCuMg). Après mise en solution, la pièce est trempée, ce qui empêche la précipitation de l' Al_2Cu dans la solution solide. Le vieillissement de la pièce se déroule ensuite à température ambiante. Au cours de ce processus, le cuivre précipite à partir de la solution sursaturée dans le réseau cristallin de l'aluminium. La déformation ainsi produite dans le réseau cristallin de l'aluminium entraîne une augmentation de la résistance mécanique et de la dureté. Le durcissement naturel dure environ 5 à 8 jours.

Lors du durcissement par vieillissement artificiel, le mécanisme est le même que celui décrit ci-dessus. Cependant, le vieillissement s'effectue à une température élevée. Par exemple, pour un alliage AlMgSi, le vieillissement s'effectue pendant 4 à 48 h à une température comprise entre 120 et 175 °C, après mise en solution et trempe. La précipitation de la phase Mg_2Si produit une déformation interne dans le réseau cristallin de l'aluminium, entraînant une augmentation de la résistance et de la dureté.

Les alliages non durcissables par traitement thermique sont durcis par travail à froid

Élément d'alliage principal	Numéro de série	Exemples d'alliages
Pureté supérieure à 99 %, avec des traces de Cu, Fe et Si	1xxx	Al 99,0 ; Al 99,5 ; Al 99,85
Mn	3xxx	Al-Mn ; Al-Cu-Mn-Mg
Mg	5xxx	AlMg3 ; Al-Mg-Mn-Cr
Autres éléments	8xxx	Al-Fe-Si ; Al-Li-Mg-Cu

Les alliages durcissables sont durcis par vieillissement naturel ou artificiel

Cu	2xxx	Al-Cu-Si-Mg
Si	4xxx	Al-Si-Mg
Mg, Si	6xxx	Al-Mg-Si
Zn	7xxx	Al-Zn-Mg-Cu

Alliages corroyés

Les billettes destinées au laminage et les lingots destinés au pressage sont produits par coulée continue. Dans de nombreux cas, la coulée est suivie d'un traitement thermique d'homogénéisation. La structure de coulée est transformée en structure corroyée par laminage à chaud, extrusion ou forgeage. Ce n'est qu'après cette mise en forme à chaud, qui fragmente la structure eutectique fragilisante située aux joints de grains et aux limites de cellules, que le travail à froid des alliages corroyés est possible (Fig. 3 à 5). Les principaux éléments d'alliage des alliages d'aluminium corroyés sont le cuivre, le magnésium, le zinc et le manganèse. Le silicium et le fer affectent les propriétés mécaniques et la résistance à la corrosion et peuvent être soit des impuretés, soit des éléments d'alliage, selon la pureté requise et l'application.

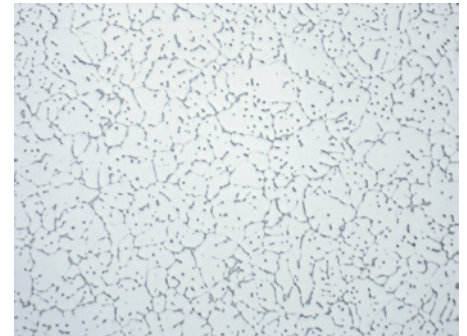


Fig. 3 : Alliage d'aluminium 2024, coulé, présentant une précipitation eutectique au niveau des joints de grains, sans attaque, grossissement 200x.

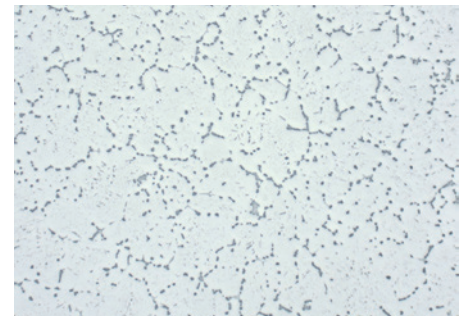


Fig. 4 : Comme la Fig. 3, homogénéisé, sans attaque, grossissement 200x.



Fig. 5 : Comme à la Fig. 4, laminé à chaud, sans attaque, grossissement 200x.



Lampes avec réflecteurs en aluminium hautement poli.



Les alliages corroyés sont utilisés, par exemple, pour la fabrication de plaques destinées à la construction mécanique et à la fabrication de moules, de produits laminés tels que les tôles et les bandes, ainsi que de produits plaqués tels que les radiateurs et les échangeurs de chaleur. Les tôles plaquées, qui doivent allier des propriétés mécaniques spécifiques à une résistance élevée à la corrosion, sont constituées d'une billette centrale en alliage d'aluminium, recouverte d'aluminium pur sur les deux faces, puis laminée. Ces tôles plaquées sont utilisées pour certains produits semi-finis destinés à la construction aéronautique ou à des applications décoratives, telles que les éléments décoratifs et les réflecteurs. Les alliages d'aluminium corroyés à haute résistance sont utilisés dans la construction mécanique, les techniques de maintenance et les applications électrotechniques, ainsi que pour la fabrication d'articles de sport et de loisirs tels que les fixations de snowboard, les bâtons de ski et les composants de transmission pour VTT. L'aluminium est de plus en plus utilisé comme matrice dans les matériaux composites, notamment dans les composites à matrice d'aluminium renforcée de fibres destinés aux industries aéronautique et aérospatiale.

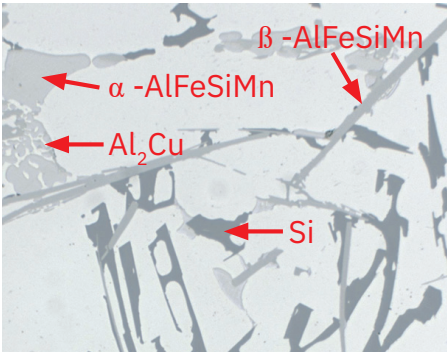


Fig. 6. AlSi6Cu4 coulé, les différentes phases sont identifiables à leur couleur caractéristique.

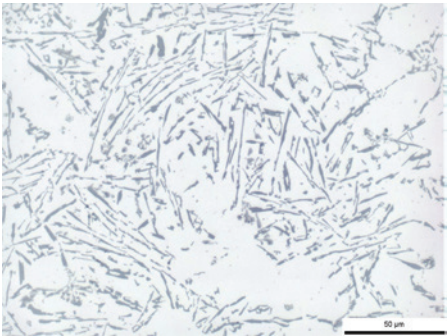


Fig. 7 :Alliage aluminium-silicium coulé, non affiné. 500x

Alliages de fonderie

Les alliages d'aluminium de fonderie sont principalement alliés afin d'améliorer leurs propriétés mécaniques et sont classés selon leurs principaux éléments d'alliage : le silicium, le magnésium et le cuivre. Les éléments d'alliage présents au-delà de la limite de solubilité dans la solution solide précipitent sous forme d'éléments purs, comme le silicium, ou sous forme d'eutectiques et de phases intermétalliques.

Le silicium améliore la coulabilité de l'aluminium et, dans les alliages eutectiques tels que l'AlSi12, de faibles quantités de sodium sont ajoutées avant la coulée afin d'affiner l'eutectique. Lors de cet affinage, au lieu de précipiter sous forme de grosses aiguilles ou de plaquettes (Fig. 7), le silicium forme avec la solution solide α un eutectique très fin (Fig. 8). L'effet de durcissement de ces alliages étant très faible, du magnésium est ajouté afin de permettre leur durcissement par vieillissement.

Les alliages de fonderie sont produits par moulage en sable, en coquille ou sous pression. Les alliages de fonderie dotés de propriétés spécifiques sont utilisés dans différentes catégories de produits, notamment pour la fabrication de pistons, de paliers lisses, de pièces de construction mécanique, de culasses et de mâchoires de frein.

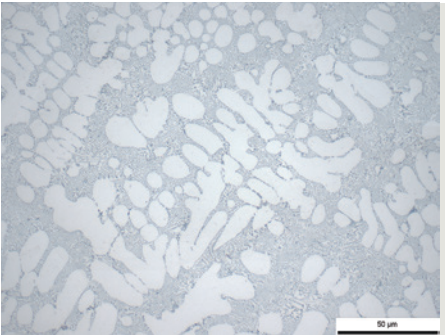
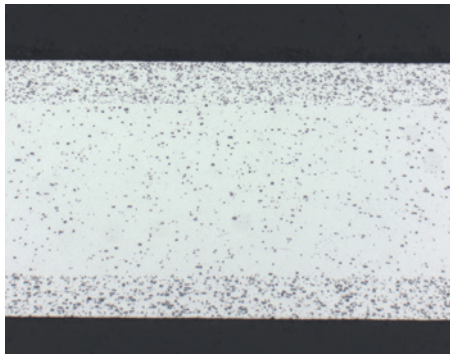


Fig. 8:Alliage aluminium-silicium coulé, affiné. 500x

Quelques-uns des principaux alliages de fonderie et leurs propriétés sont présentés ci-dessous :	
AlSi10Mg	Durcissable par vieillissement, résistant aux vibrations et à la corrosion
AlSi5Cu1	Durcissable par vieillissement, bonne coulabilité, adapté au soudage et à la coulée de pièces de faible épaisseur
AlMg3	Résistant à l'eau de mer
AlSi25+ Cu Ni	Durcissable par vieillissement, alliage spécial pour pistons, résistant à l'usure grâce à sa forte teneur en silicium
AlMgSiPb	Adapté à l'usinage
AlSi9Cu3	Bonne coulabilité, alliage polyvalent, principal alliage utilisé pour le moulage sous pression



Tôle plaquée, alliage de base : 100x
Alliage d'aluminium 3503, placage :
Alliage d'aluminium 4104, sans attaque.



Tôle plaquée, alliage de base : 50x
Alliage d'aluminium 2024, placage :
Aluminium à 99,5 %, attaqué au réactif
de Dix et Keller.

DIFFICULTÉS RENCONTRÉES LORS DE LA PRÉPARATION DE L'ALUMINIUM ET DES ALLIAGES D'ALUMINIUM

Plus la pureté de l'aluminium augmente, plus celui-ci devient tendre et sensible aux déformations mécaniques et aux rayures. Par conséquent, le prépolissage peut provoquer une déformation en profondeur dans l'aluminium de haute pureté.

Les abrasifs utilisés pour le prépolissage et le polissage peuvent s'incruster dans la surface. Plus la teneur en éléments d'alliage augmente, plus l'aluminium devient dur, et les alliages de fonderie sont relativement faciles à préparer. Il convient toutefois de souligner que la matrice d'aluminium doit être parfaitement polie afin d'éviter toute erreur d'interprétation de la microstructure (Fig. 9 et 10).



Fig. 9 : Alliage aluminium-silicium coulé : après un polissage diamanté à 3 µm, de petites rayures sont encore visibles. 200x



Fig. 10 : Structure identique à celle de la Fig. 9, mais avec un polissage fin réalisé avec la suspension OP-U. La matrice est bien polie et l'eutectique est plus contrastée. 200x

Pour le tronçonnage de l'aluminium, on utilise une meule de tronçonnage dure en carbure de silicium, généralement adaptée aux métaux non ferreux.

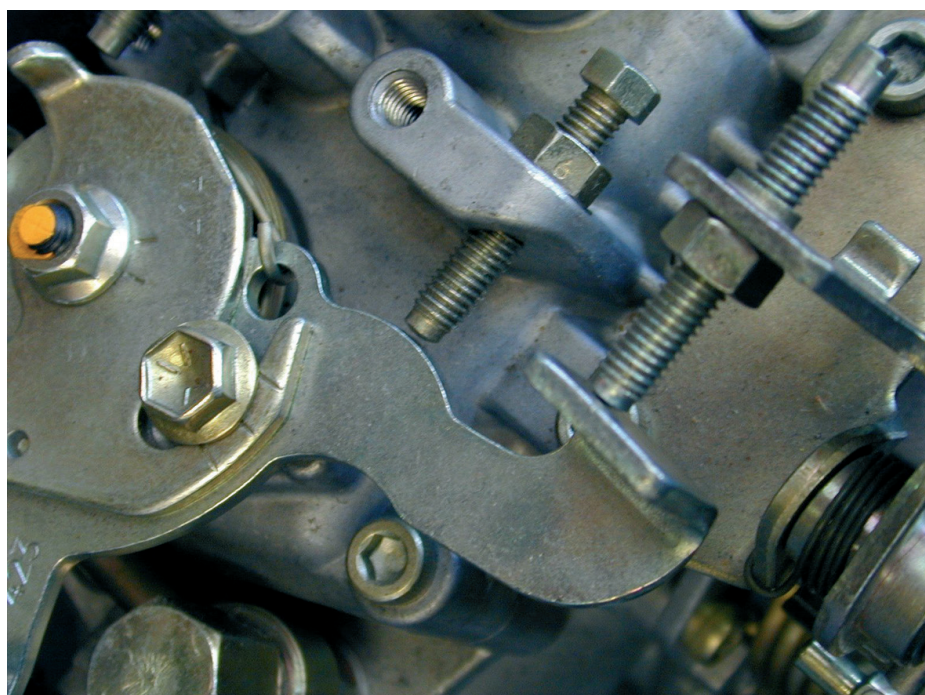
Pour l'enrobage, une résine phénolique suffit dans la plupart des cas. Les tôles minces, les feuilles et les échantillons destinés à l'anodisation doivent de préférence être enrobés dans des résines époxy à durcissement lent, en laissant les échantillons dépasser à l'arrière de l'enrobage afin qu'ils puissent servir de contacts électriques.

Prépolissage et polissage mécaniques

Il est recommandé d'effectuer le prépolissage plan avec la granulométrie la plus fine possible afin d'éviter toute déformation mécanique excessive. Il convient de tenir compte de la dureté, de la taille et du nombre d'échantillons, mais même pour des échantillons de grandes dimensions en aluminium pur, un grain 500 suffit pour le prépolissage plan. Les grandes pièces moulées en alliages d'aluminium peuvent être prépolies avec un grain 220 ou 320. Il est également important que la force de

prépolissage soit très faible afin d'éviter toute déformation profonde et de réduire le frottement entre la feuille/le papier de prépolissage et la surface de l'échantillon, qui peut être relativement élevé dans le cas de l'aluminium pur.

Le polissage diamanté doit être poursuivi jusqu'à l'élimination complète de toutes les rayures profondes dues au prépolissage. S'il est nécessaire d'identifier des constituants solubles dans l'eau, il est recommandé d'effectuer le polissage avec une suspension diamantée et un lubrifiant sans d'eau. Si des particules de diamant se sont incrustées dans la surface pendant le polissage, le polissage final avec une suspension de silice peut être relativement long (voir Fig. 1, page 2). Très souvent, des zones brillantes et mates sont déjà visibles à l'œil nu à la surface de l'échantillon. Cela indique que le polissage final n'est pas encore suffisant. Il convient de souligner que les particules incrustées peuvent conduire à une interprétation erronée de la microstructure.



Coupe d'une pièce de construction mécanique comportant des composants en aluminium coulé.

RECOMMANDATIONS POUR LA PRÉPARATION DE L'ALUMINIUM ET DES ALLIAGES D'ALUMINIUM

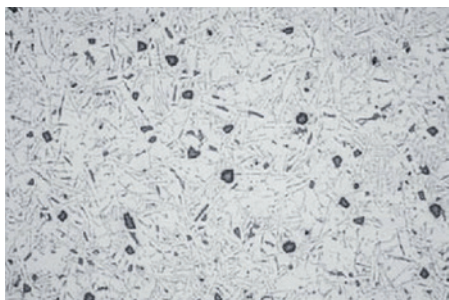


Fig. 11 :Alliage aluminium-silicium coulé, 100x. poli trop longtemps avec la suspension OP-S : les précipités de silicium apparaissent en relief.

Après 1 minute de polissage avec la suspension OP-U, le résultat est contrôlé au microscope. Si nécessaire, il convient de poursuivre le polissage pendant une minute supplémentaire, puis de contrôler à nouveau le résultat. Il est recommandé de répéter cette séquence de polissage et de contrôle jusqu'à obtention de la qualité souhaitée. Environ 20 à 30 secondes avant la fin du polissage, versez de l'eau sur le drap de polissage afin de rincer à la fois l'échantillon et le drap. L'échantillon est ensuite rincé à nouveau à l'eau claire du robinet, puis séché. Remarque : Un polissage trop long avec la suspension de silice OP-S NonDry peut produire un relief marqué (Fig. 11).

Les données suivantes concernent la préparation automatique d'échantillons enrobés de 30 mm de diamètre.

Électrolyte :	200 ml d'eau + 10 ml d'acide fluoroborique (35 %) (Barker)
Masque :	2 cm ²
Tension :	24 V
Taux du flux :	8
Durée :	1-2 min.

Le polissage électrolytique est particulièrement adapté à l'aluminium pur et aux alliages corroyés. Il permet d'obtenir une surface exempte de rayures et est souvent utilisé pour le contrôle qualité, car il donne des résultats rapides et reproductibles. Pour la détermination courante de la taille des grains à un grossissement de x 100, un prépolissage avec une feuille/un papier SiC de grain 1000 suffit. Les surfaces laminées ou étirées ne nécessitent ni prépolissage, ni polissage. Pour l'aluminium pur et l'examen précis de la forme des grains, les échantillons doivent subir un prépolissage fin jusqu'au grain 2000, voire parfois jusqu'au grain 4000, avant le polissage électrolytique. En raison des nombreuses phases qu'ils contiennent, les alliages de fonderie ne conviennent pas au polissage électrolytique.

Après le polissage, une anodisation au réactif de Barker produit un contraste coloré particulièrement adapté à l'évaluation de la taille des grains. Pour obtenir cet effet de couleur, on utilise une lumière polarisée avec une lame $\lambda/4$ (Fig. 12).

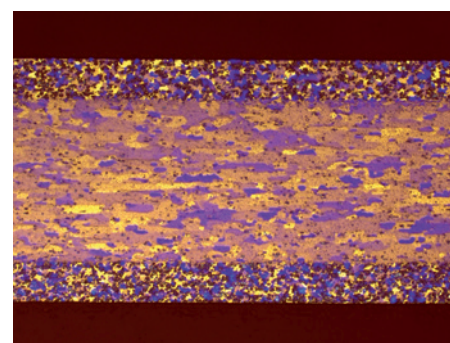


Fig. 12 :Tôle plaquée, anodisée : 100x les grains sont clairement visibles et se prêtent à l'analyse d'images automatique. Lumière polarisée avec lame $\lambda/4$.

Méthode de préparation 1 – Alliage aluminium-silicium coulé

Prépolissage

ÉTAPE		PG	PF	DP	OP
		MD-Molto	MD-Largo	MD-Mol*	MD-Chem
	Type	Diamant	Diamant	Diamant	Silice colloïdale
	Dimensions	#220	9 µm	3 µm	0,04 µm ou
		Eau	DiaPro Allegro/Largo 9	DiaPro Mol R3	OP-U NonDry
	t/m	300	150	150	150
	Force [N/échantillon]	25	30	25	15
	Durée (min)	Jusqu'à planéité	4	3	1

*Ou MD-Dac.



Méthode de préparation 2 – Aluminium pur

Prépolissage				Polissage			
ÉTAPE		PG	FG 1	FG 2	FG 3	DP	OP
Support		Feuille/papier*	Feuille/papier*	Feuille/papier*	Feuille/papier*	MD-Mol**	MD-Chem
Abrasif	Type	SiC	SiC	SiC	SiC	Diamant	Silice colloïdale
	Dimensions	#320/500	#800	#1200	#4000	3 µm	0,04 µm ou 0,25 µm
Suspension/Lubrifiant		Eau	Eau	Eau	Eau	DiaPro Mol R3	OP-U ou OP-S
t/m		300	300	300	300	150	150
Force [N/échantillon]		25	25	25	25	25	15
Enlèvement (µm) Durée (min)		Jusqu'à planéité	0,5	0,5	0,5	4	2-5

*Pour éviter les rayures grossières, il est possible de frotter la feuille/le papier SiC avec de la cire avant le prépolissage.
**Ou MD-Dac.

Méthode de préparation 3 – Aluminium pur, méthode alternative

Prépolissage			Polissage		
ÉTAPE		PG	PF	DP	OP
Support		Feuille/papier*	MD-Pan	MD-Dac 3 ou MD/Dur 3	MD-Chem
Abrasif	Type	SiC	Diamant	Diamant	Silice colloïdale
	Dimensions	#320	15 µm	3 µm	0,04 µm ou 0,25 µm
Suspension/Lubrifiant		Eau	DiaPro Pan 15	DiaPro Dac 3/Dur 3	OP-U ou OP-S
t/m		300	150	150	150
Force [N/échantillon]		25	25	25	15
Durée (min)		Jusqu'à planéité	5	4	2-5

*Pour éviter les rayures grossières, il est possible de frotter la feuille/le papier SiC avec de la cire avant le prépolissage.



Attaque et structure

Les réactifs de macroattaque sont utilisés pour évaluer la taille des grains, mettre en évidence les lignes de fibrage dues à l'extrusion (Fig. 13) et révéler les cordons de soudure. Avant l'attaque, l'échantillon doit être prépoli jusqu'au grain 1200 ou 2400.

Les nombreuses possibilités d'alliage de l'aluminium donnent lieu à une grande diversité de phases, qui ne peuvent pas toujours être clairement identifiées dans certains alliages multicomposants. Certaines des phases bien connues présentent les couleurs caractéristiques suivantes (voir également Fig. 6, page 5) :

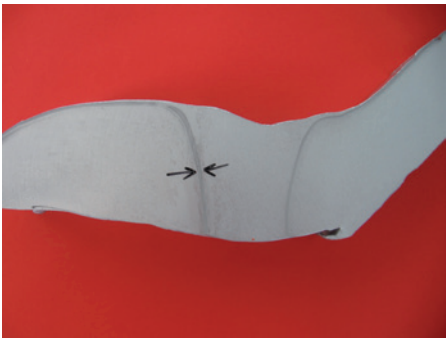


Fig. 13 : Pièce pressée, macroattaque : mise en évidence de précipités primaires et hétérogènes ayant un effet négatif sur l'état de surface du produit fini.

Électrolyte :	A2
Masque :	2 cm ²
Tension :	39 V
Débit :	10
AlMgSiPb	Adapté à l'usinage
Durée :	20 s

Si	Gris
Mg ₂ Si	Bleu foncé terni pendant le polissage (dans une pièce coulée : caractères chinois)
Al ₂ Cu	Brun rosé, couleur cuivre
Al ₆ Mn	Gris clair

Selon la teneur en éléments d'alliage, ces phases peuvent parfois être identifiées grâce à la morphologie caractéristique de leur structure eutectique. La littérature spécialisée répertorie les réactifs d'attaque permettant d'identifier ces phases (Fig. 14 et 15).

Les alliages corroyés présentant une structure fortement déformée, tels que les feuilles ou les tôles très minces, sont difficiles à contraster par attaque chimique, ce qui peut compliquer l'analyse d'images automatique. Il est recommandé d'anodiser l'échantillon avec le réactif de Barker, puis d'évaluer « manuellement » la microstructure au microscope, car même avec ce réactif, le contraste n'est parfois pas suffisant pour permettre une analyse d'images automatique. Il convient de souligner que certaines spécifications relatives aux alliages corroyés exigent une détermination « manuelle » de la taille des grains, l'analyse d'images n'étant pas suffisamment précise.

Solutions d'attaque

Remarque : Respectez toujours les précautions de sécurité standard lorsque vous travaillez avec des produits chimiques.

Macro-attaque	
Pour l'aluminium pur	90 ml d'eau 15 ml d'acide chlorhydrique 10 ml d'acide hydrofluorique
Attaque en profondeur pour révéler la structure dendritique primaire	100 ml d'eau 10-25 g d'hydroxyde de sodium

Micro-attaque	
Réactif de Flick : attaque des joints de grains pour la plupart des types d'aluminium et d'alliages	90-100 ml d'eau 0,1-10 ml d'acide hydrofluorique
Réactif de Dix et Keller : attaque des grains pour les alliages d'aluminium contenant du cuivre, également adaptée à l'aluminium pur.	190 ml d'eau 5 ml d'acide nitrique 10 ml d'acide chlorhydrique 2 ml d'acide hydrofluorique
Réactifs d'attaque colorante :	Solution d'acide molybdique selon Klemm ou Weck

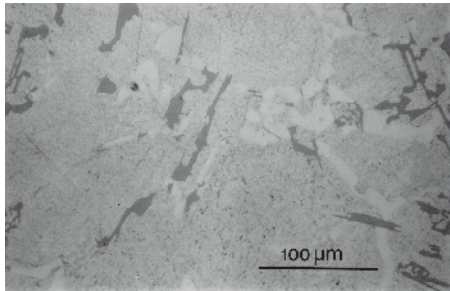


Fig. 14 :Alliage d'aluminium expérimental contenant 6 % de Si et 10 % de cuivre, sans attaque.

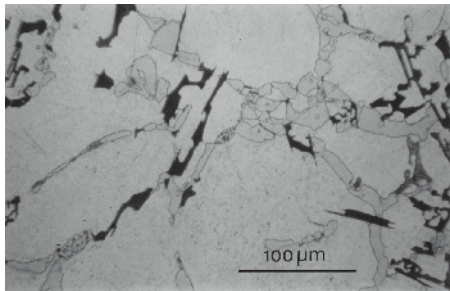


Fig. 15 : Comme à la Fig. 14, mais attaqué pendant 30 s avec une solution composée de 1 g d'acide molybdique dans 200 ml d'eau et de 6 g de chlorure d'ammonium. Le silicium est bleu foncé et se distingue du CuAl₂, grisâtre.

RÉSUMÉ

Sa faible densité, sa résistance mécanique élevée et sa résistance à la corrosion font de l'aluminium et de ses alliages des matériaux de choix pour de nombreuses applications, notamment dans les industries automobile, aéronautique et aérospatiale, ainsi que dans l'industrie de l'emballage. La métallographie est utilisée dans le cadre du contrôle qualité pour déterminer la taille des grains et évaluer les phases, les impuretés et les défauts mécaniques. L'aluminium pur est très sensible à la déformation ; il convient donc d'éviter les grains grossiers lors du prépolissage. Un polissage final très minutieux avec une suspension de silice est nécessaire pour assurer l'élimination complète des particules de diamant incrustées dans la surface de l'échantillon. Le polissage des alliages d'aluminium coulés est une tâche relativement facile. Pour évaluer la taille des grains, l'anodisation au réactif de Barker est particulièrement adaptée, car elle permet d'obtenir un meilleur contraste que l'attaque chimique. Les différentes phases des alliages coulés peuvent être identifiées soit par leur couleur caractéristique, soit par une attaque avec des solutions spécifiques qui attaquent préférentiellement certaines phases.

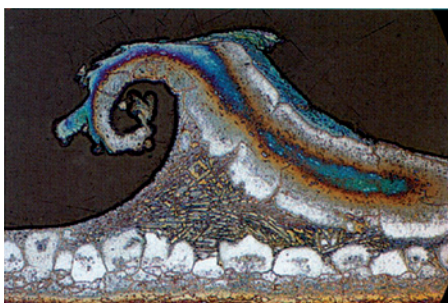


Fig. 16 : Bavure sur un point de soudure d'un échangeur de chaleur, préalablement attaquée à l'hydroxyde de sodium, puis soumise à une attaque colorante au permanganate de potassium selon Weck.

NOTE D'APPLICATION

Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier,
Struers ApS, Copenhague, Danemark

Remerciements/crédits

Nous remercions la société AMAG rolling GmbH, Ranshofen, Autriche, de nous avoir fourni des échantillons et de nous avoir autorisés à reproduire la photo des lampes figurant à la page 3. Nous remercions tout particulièrement Mme Petra Mersch et le Dr Reinhardt Rachlitz pour leur soutien. Nous tenons à remercier la société autrichienne Alu-Guss-Gesellschaft G.m.b.H., Ranshofen, de nous avoir autorisés à reproduire la photo de la jante en aluminium figurant à la page 1. Nous tenons également à remercier Thomas Zwieg, Danish Institute of Technology, Aarhus, Danemark, de nous avoir autorisés à reproduire la fig. 17.

Bibliographie

Structure 38, Thomas, Zwieg, Danish Institute of Technology, Aarhus, Denmark, A universal method for the mechanical preparation of Aluminum alloy specimens with high edge retention and their subsequent colour etching. Structure 8, Etching of Aluminum alloys, Dr. Philippe Lienard, Pof. Clement Pacque, Faculté Polytechnique de Mons, Belgique. ASM Handbook, Vol. 9, Metallography and Microstructures, ASM, 2004. Metals Handbook, Desk Edition, ASM, 1997. Informationsmaterial des Gesamtverbandes Deutscher Metallgießereien e.V., Düsseldorf.