

# Préparation métallographique de l'aluminium et des alliages d'aluminium

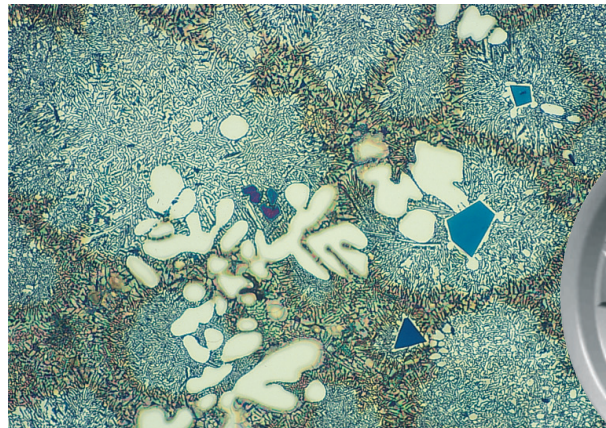
## Application Notes

Contrairement aux autres métaux depuis longtemps établis, tels que le fer et le cuivre, l'aluminium est un métal relativement récent qui n'est connu que depuis le début du 19ème siècle. En 1886, une méthode de production pour l'aluminium a été développée étant toujours utilisée aujourd'hui: le processus de Hall-Heroult.

L'aluminium a une apparence blanche argentée, il est très léger et est utilisé comme métal pur ou allié pour une multitude de différentes applications. Seules de très petites quantités d'éléments d'alliage peuvent renforcer sa robustesse, et en raison de leur faible densité, les alliages d'aluminium sont tout particulièrement indiqués pour les applications dans l'industrie aéronautique et aérospatiale. Les alliages d'aluminium sont aussi fréquemment utilisés dans l'industrie automobile pour favoriser les réductions de poids.

La grande résistance à la corrosion de l'aluminium est due à une couche passivante d'oxyde d'aluminium, intimement connectée à la surface. Cette couche d'oxyde est capable de se renouveler spontanément lorsque la surface est endommagée. L'aluminium est donc tout indiqué pour les surfaces polies et brossées et pour une anodisation en différentes couleurs, ce qui en fait un matériau de grand intérêt pour l'industrie du bâtiment.

Les autres propriétés de l'aluminium sont sa conductibilité thermique élevée et sa formabilité facile, soit par coulage, soit par formage à chaud ou à froid ou usinage. L'aluminium est



Coulée d'aluminium-silicium, après attaque colorée à l'acide molybdique, 200x.

non-toxique et neutre pour ce qui est du goût et il est donc le matériau de prédilection de l'industrie alimentaire et du conditionnement, par exemple pour les conserves et les feuilles ou pour les machines de boulangeries et les pompes pour boissons.

De nouveaux alliages tels que le Al-Li et le Ti-Al sont fabriqués par processus de poudre métallurgique et l'aluminium est également utilisé comme alliage mère pour des composites. Etant un matériau à facettes multiples, l'aluminium sera, à l'avenir, utilisé dans bien d'autres domaines d'application nouveaux.

La métallographie de l'aluminium est utilisée pour le contrôle qualité pour la détermination de la taille de grain et pour les défauts de la microstructure sur échantillon poli et attaqué. De plus, l'échantillon est contrôlé pour le

### Difficultés lors de la préparation métallographique

- L'aluminium pur est très tendre et prédisposé à la déformation mécanique et aux rayures.
- Le carbure de silicium et les particules dia-

mantées peuvent être pressés dans la surface de l'échantillon (Fig.1).

- Les alliages corroyés très travaillés et déformés sont difficiles à contraster.

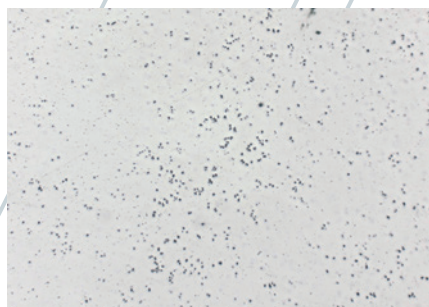


Fig. 1: Particules diamantées incrustées dans l'aluminium pur après polissage à 3 µm, 200x.



Fig. 2: Oxyde dans la surface d'une coulée sous pression en alliages d'aluminium, 50x.



descellement des impuretés, telles que les oxydes ou les aluminites de zircon (Fig. 2). Le matériau coulé est évalué afin de déterminer la forme et la répartition des phases et une éventuelle porosité. Dans le matériau corroyé, les défauts générés au processus de laminage et de filage sont examinés et les épaisseurs de revêtement sont mesurées.

### Solution

- Un prépolissage plan sur un papier SiC le plus fin possible.
- Le polissage diamanté et/ou le polissage final doivent être suffisamment longs pour éliminer toutes les particules incrustées.
- Polissage final à la suspension d'oxyde de silicium.
- Anodisation au réactif de Barker.

# Production et application de l'aluminium

L'aluminium est l'un des métaux les plus fréquents sous la croûte terrestre. Il n'est pas trouvé à l'état pur, mais combiné sous forme de composés chimiques. Une extraction économique n'est possible qu'à partir de la bauxite constituée de 60% d'oxyde d'aluminium comme l'hydroxyde ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ), le reste sont des oxydes métalliques ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ). Le processus de production est complexe et à forte intensité d'énergie, et il se base sur deux étapes brièvement décrites dans ce qui suit.

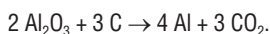
## Extraction de l'alumine pure (oxyde d'aluminium, $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) à partir de la bauxite

La récupération de l'alumine commence par un concassage et une trituration fine de la bauxite, puis de son chauffage sous pression à l'hydroxyde de sodium. Dans ce processus, un aluminat de sodium soluble dans l'eau est formé avec des résidus insolubles de fer, titane et silicium, appelés "boue rouge" qui sont séparés par sédimentation. A cette solution très diluée d'aluminat de sodium l'on rajoute des "germes cristallins" d'hydroxyde d'aluminium frais pour amorcer la précipitation de l'hydroxyde d'aluminium pur ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ). Par le biais de la calcination à  $1200^\circ\text{C}$ , l'eau est éliminée de l'hydroxyde d'aluminium et il reste l'alumine anhydre pure (oxyde d'aluminium).

## Le processus Hall-Heroult: transformer l'alumine en aluminium

The chimie de réaction de l'alumine pure nécessite un processus électrochimique qui permettra d'extraire l'aluminium de son oxyde. Comme le point de fusion de l'oxyde d'aluminium est très élevé,  $2050^\circ\text{C}$ , il est mélangé à de la cryolite qui réduit le point de fusion à  $950^\circ\text{C}$ . De plus, la cryolite fait augmenter la conductivité et en conséquence, l'apport d'électricité.

L'électrolyse a lieu dans un grand conteneur en acier revêtu au carbone ou au graphite, contenant des tiges d'acier pour conduire l'électricité. Les parois et le fond claddés au carbone forment la cathode et la coulée d'oxyde-cryolite d'aluminium est l'électrolyte. Les plaquettes de carbone pendues sur un montage au-dessus de la coulée servent d'anodes. Lors de l'électrolyse, le carbone de l'anode réagit à l'oxygène de l'alumine, et lors d'une réaction secondaire, de l'aluminium métallique est produit avec la formation de dioxyde de carbone:



L'aluminium liquide a une densité plus élevée que la coulée d'électrolyte et se dépose au fond du pot. Il est coulé en gueuse une fois par jour.

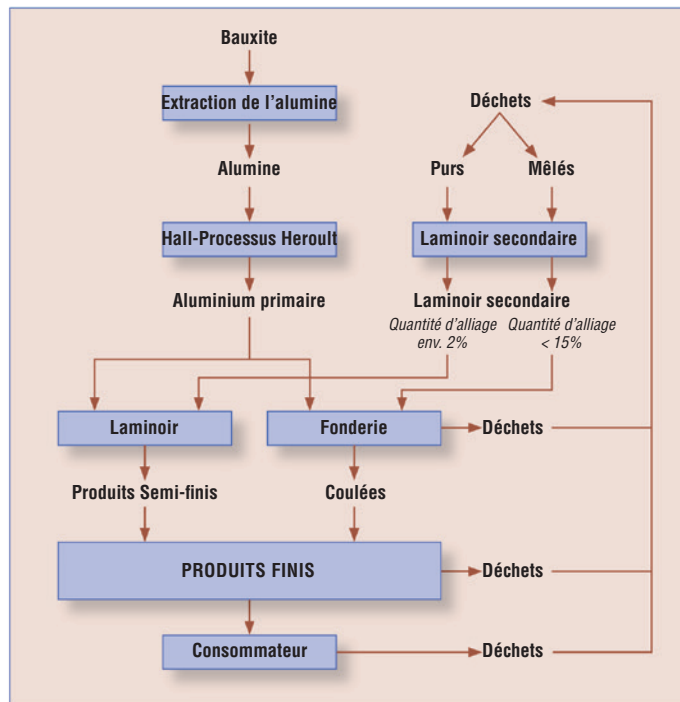
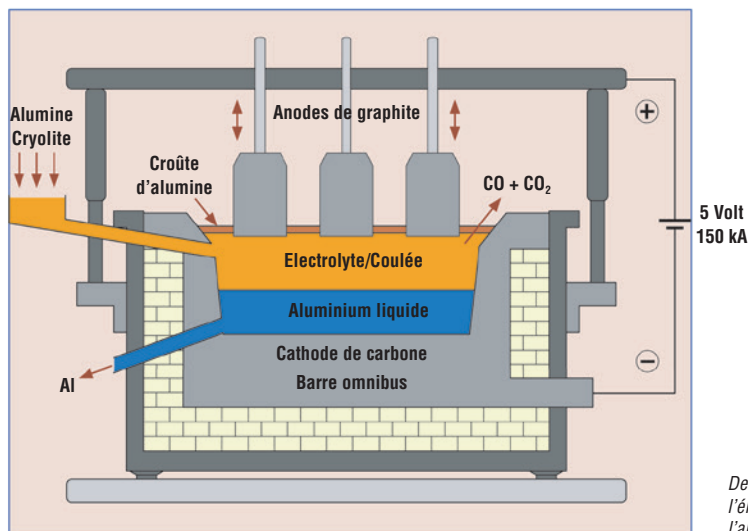


Diagramme simplifié du processus de production de l'aluminium.



Dessin schématique de l'électrolyse produisant l'aluminium pur.

Par le biais de ce processus, de l'aluminium d'une pureté de 99,0 – 99,9% est produit dont la plus grande partie est utilisée pour la production des alliages d'aluminium.

Grâce à une électrolyse additionnelle, la pureté de l'aluminium peut être augmentée à 99,98% pour les produits semi-finis et à 99,99% pour les gueuses. Cet aluminium pur a une résistance très élevée à la corrosion et est particulièrement approprié pour l'anodisation. Il est utilisé pour brillanter des produits tels que les garnitures décoratives, les réflecteurs, les feuilles pour les condensateurs d'électrolyte et pour les tubes utilisés dans l'industrie chimique et alimentaire. Comme plus l'aluminium est pur, plus son coût augmente, la pureté d'un aluminium spécifique utilisé pour un produit est déterminé par les exigences de son application.

Le diagramme ci-dessus montre le cycle de l'aluminium avec ses étapes de production. Les produits principaux sont des alliages travaillés

pour des produits semi-finis contenant jusqu'à 2% d'éléments d'alliage et des alliages coulés avec jusqu'à 15% d'éléments d'alliage.

Il existe de nombreux **alliages d'aluminium** et ils sont catégorisés comme alliages corroyés et coulés. Ces deux groupes sont de nouveau différenciés par les alliages de traitement thermique et sans traitement thermique. L'ajout de très petites quantités d'éléments d'alliage crée une augmentation de la résistance à la traction, apporte plus de robustesse et de dureté lorsque comparé avec les propriétés mécaniques de l'aluminium pur. Les éléments d'alliage les plus importants sont le Si, Mg, Cu, Zn et Mn. Les combinaisons des éléments d'alliage avec l'aluminium ou l'un avec l'autre (composants de  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,  $\text{Al}_2\text{Cu}$ ,  $\text{MgZn}_2$  et  $\text{Al-Fe-Si}$ ) influencent l'aptitude au façonnage. Ces composants pratiquement eutectiques doivent être finement dispersés, tout d'abord par le biais d'un processus de travail à chaud avant que l'alliage puisse être travaillé à froid.



Lampes avec réflecteurs en aluminium finement poli.

Le processus le plus important pour améliorer les propriétés mécaniques des alliages d'aluminium est le durcissement par vieillissement. Il nécessite une solution solide avec une solubilité décroissante des éléments d'alliage avec des températures décroissantes, par exemple le AlCuMg et le AlMgSi.

**Durcissement par vieillissement naturel** (exemple AlCuMg). Après l'hypertrempe, la pièce est trempée et en conséquence, la précipitation de  $Al_2Cu$  dans la solution solide est empêchée. La pièce est alors laissée à vieillir à température ambiante. Pendant ce processus, le réseau d'aluminium précipite le cuivre de la solution sursaturée. La déformation alors produite dans le réseau d'aluminium aboutit à une augmentation de la robustesse et de la dureté. Un durcissement naturel prend environ de 5 à 8 jours.

Lors d'un durcissement par **vieillissement artificiel**, la dynamique est la même que celle décrite ci-dessus. Cependant, le vieillissement a lieu à température élevée. Par exemple, pour un alliage de AlMgSi, le vieillissement a lieu entre 4 et 48 h. à 120-175° C après l'hypertrempe et la trempe. La précipitation de la phase de  $Mg_2Si$  produit une déformation interne dans le réseau d'aluminium qui résulte dans une augmentation de la robustesse et de la dureté.

### Alliages de corroyage

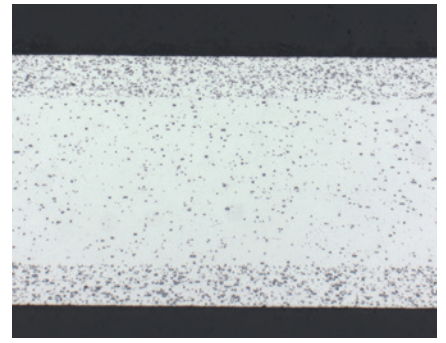
Des billettes pour le roulage et des lingots pour le formage à la presse sont produits en un processus de coulée continu. Dans de nombreux cas, la coulée est suivie par un recuit pour une homogénéisation. La transformation de la structure coulée en une structure corroyée a lieu par roulage à chaud, extrusion ou forgeage. Ce n'est qu'après ce formage à chaud, au cours duquel le grain eutectique est fragilisé

et la structure de limite des cellules est brisée, que le travail à froid des alliages corroyés devient possible (Fig. 3-5).

Les éléments d'alliage principaux pour les alliages d'aluminium corroyés sont le cuivre, le magnésium et le manganèse. Le silicium et le fer affectent les propriétés mécaniques et la résistance à la corrosion. Ils peuvent être soit des impuretés, soit des éléments d'alliage, selon la pureté et l'application requises.

Les alliages corroyés sont, par exemple, utilisés pour les plaques dans le génie mécanique et la construction par matrice, pour les produits roulés tels que feuilles et bandes et pour les produits plaqués tels que les radiateurs et les échangeurs de chaleur. Les feuilles plaquées, devant combiner des propriétés mécaniques spécifiques et une résistance élevée à la corrosion, ont une plaque à noyau d'un alliage d'aluminium recouverte de chaque côté d'aluminium pur et roulé. Ces feuilles plaquées sont utilisées pour des produits semi-finis spécifiques pour la construction aéronautique ou pour les applications décoratives telles que les enjoliveurs et les réflecteurs.

Les alliages de haute résistance d'aluminium corroyés sont utilisés dans le génie mécanique, les applications de transport et électrotech-



Feuille plaquée, cœur: alliage d'aluminium 3503, revêtement: alliage d'aluminium 4104, non-attaqué 100x.



Feuille plaquée, cœur: alliage d'aluminium 2024, revêtement: aluminium 99,5%, attaqué à Dix et Keller 50x.

niques, et pour les articles de sports et de loisir tels que les fixations pour snowboards, les bâtons de ski et les développements des VTT, etc.

L'aluminium est de plus en plus utilisé comme matériau de matrice pour les composites, particulièrement pour l'aluminium renforcé aux fibres utilisé dans l'industrie de l'aéronautique et de l'aérospatiale.

### Alliages coulés

Les alliages d'aluminium coulés sont principalement alliés pour améliorer les propriétés

#### Les alliages non trempés sont écrouis par travail à froid

Élément d'alliage principal	Numéro de série	Exemples d'alliages
Pur à plus de 99%, avec des traces de Cu, Fe, 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 de trempe sont durcis par trempe naturelle et artificielle

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



Fig. 3: Alliage d'aluminium 2024, coulé, montrant une précipitation eutectique sur les limites de grain, non-attaqué, 200x.

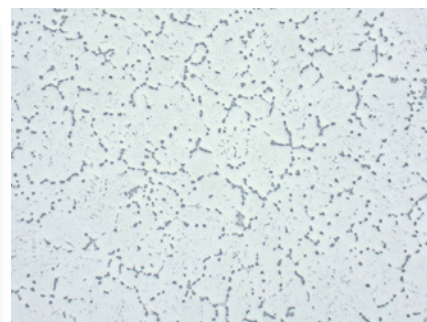


Fig. 4: Comme Fig. 3, homogénéisé, non-attaqué, 200x.

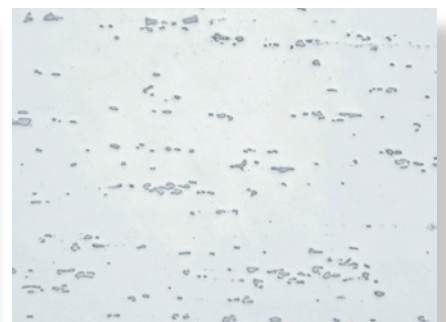


Fig. 5: Comme Fig. 4, laminé à chaud, non-attaqué, 200x.

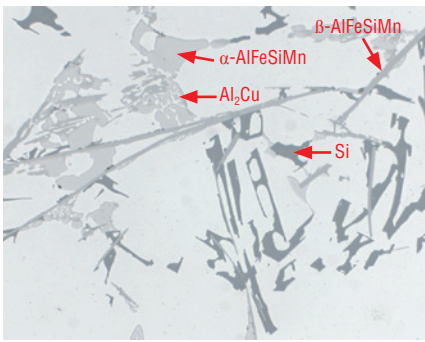


Fig. 6: Coulée d'AlSi6Cu4, les différentes phases peuvent être identifiées par leur couleur typique.

mécaniques et sont différenciés selon leurs éléments d'alliage principaux, le silicium, le magnésium et le cuivre. Le contenu d'un alliage excédant la saturation de la solution solide est précipité comme métal pur tel que le silicium ou comme eutectique et phases intermétalliques.

Le silicium augmente la coulabilité de l'aluminium, et dans les alliages eutectiques tels que l'AlSi12, des petites quantités de sodium sont ajoutées avant la coulée pour affiner l'eutectique. Dans ce processus d'affinage, au lieu de précipiter comme aiguilles ou plaques grossières (Fig. 7), le silicium forme un eutectique très fin avec la solution  $\alpha$  solide (Fig. 8). L'effet de durcissement dans ces alliages est très faible et donc du magnésium est ajouté pour qu'ils puissent vieillir.

Les alliages coulés sont produits par coulée en sable, en coquille ou sous pression. Les alliages avec des propriétés spécifiques sont utilisés dans différents groupes de produits pour la fabrication des pistons, des paliers lisses, des pièces pour les constructions mécaniques, des têtes de cylindre, des segments de frein, etc.

**Certains des alliages coulés les plus importants ainsi que leurs propriétés sont indiqués ci-dessous:**

AlSi10Mg	Durcit par vieillissement, résistant aux vibrations et à la corrosion
AlSi5Cu1	Durcit par vieillissement, bonne coulabilité, pour les soudures, pour coulée de lames minces
AlMg3	Résistant à l'eau de mer
AlSi25 + Cu Ni	Durcit par vieillissement, alliage spécial, pour les pistons, résistance à l'usure grâce à son contenu élevé en Si
AlMgSiPb	Adéquat pour l'usinage
AlSi9Cu3	Alliage universel adéquat pour le coulage, l'alliage le plus important pour la coulée sous pression

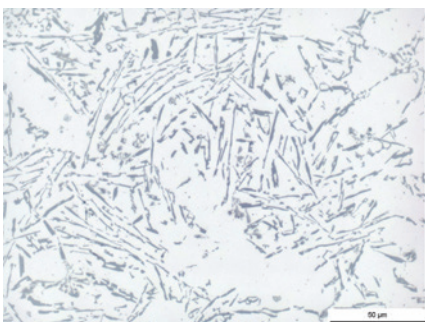


Fig. 7: Coulée d'aluminium-silicium, non-affiné, 500x.

## Difficultés de préparation de l'aluminium et des alliages d'aluminium

Avec l'augmentation de sa pureté, l'aluminium devient plus tendre et a davantage tendance à la déformation mécanique et aux rayures. En conséquence, le prépolissage peut causer une déformation déjà profonde dans l'aluminium à pureté élevée.

Les abrasifs de prépolissage et de polissage peuvent être pressés dans la surface. L'augmentation du contenu d'alliage rend l'aluminium plus dur et les alliages coulés sont relativement faciles à préparer. Il faut cependant noter que la matrice d'aluminium doit être soigneusement polie pour éviter les erreurs dans l'interprétation de la structure (Fig. 9 et 10).

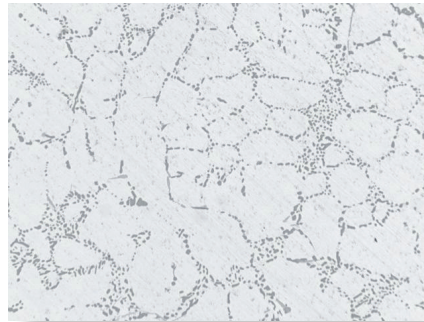


Fig. 9: Coulée d'aluminium-silicium, après polissage aux diamants 3µm, des petites rayures sont toujours visibles, 200x



Fig. 10: Structure comme à la Fig. 9, mais après polissage fin avec suspension OP-U. La matrice est bien polie et l'eutectique a plus de contraste, 200x.

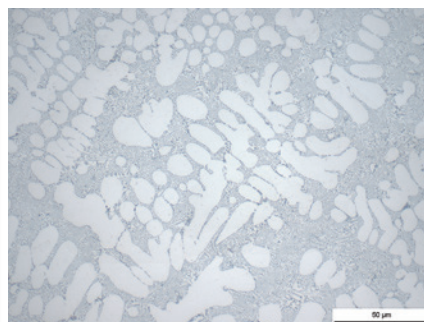


Fig. 8: Coulée d'aluminium-silicium, affiné, 500x.

## Recommandations pour la préparation de l'aluminium et des alliages d'aluminium

Pour le **tronçonnage** de l'aluminium, une meule de tronçonnage dure en carbure de silicium est utilisée, étant généralement adéquate pour les métaux non-ferreux. Comme résine **d'enrobage**, une résine phénolique est, dans la plupart des cas, suffisante. Des tôles et feuilles minces, et des échantillons pour l'anodisation, sont mieux enrobés dans des résines époxy à durcissement lent, alors que les échantillons doivent dépasser du revers de l'enrobage pour servir de contacts électriques.

### Prépolissage et polissage mécaniques

Il est recommandé que le prépolissage plan soit réalisé avec la granulométrie la plus fine possible afin d'éviter toute déformation mécanique excessive. La dureté, la taille et le nombre des échantillons doivent être pris en considération, mais même avec les échantillons plus grands d'aluminium pur, 500# est suffisant pour le prépolissage plan. Les grandes pièces coulées d'alliages d'aluminium peuvent être prépolies à 220# ou 320#. Il est important que la force utilisée pour le prépolissage soit aussi très basse, pour éviter une déformation profonde et réduire la friction entre le papier de prépolissage et la surface de l'échantillon; elle peut être relativement élevée pour l'aluminium pur.

Le polissage diamanté doit être poursuivi jusqu'à ce que toutes les rayures profondes provenant du prépolissage aient été éliminées. Pour identifier des constituants solubles dans l'eau, un polissage avec une suspension diamantée et un lubrifiant exempts d'eau est recommandé. Si des particules diamantées se sont incrustées dans la surface lors du polissage, le polissage final suivant à la suspension d'oxyde de silicium pourra être relativement long (voir Fig. 1). Très souvent, l'on peut déjà voir à l'œil nu des régions claires et ternes sur la surface des échantillons. Ceci est une indication que le polissage final n'est pas encore suffisant. Il faut souligner que les particules incrustées peuvent aboutir à des interprétations erronées de la structure.



Section d'une pièce de construction mécanique avec des composants en aluminium coulés.

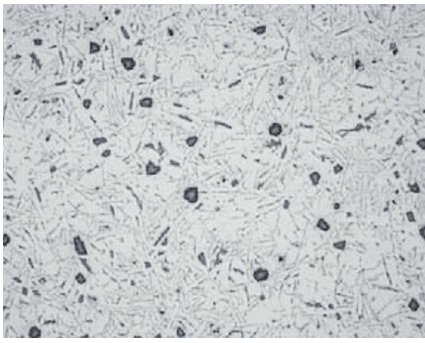


Fig. 11: Coulée d'aluminium-silicium après polissage trop long avec suspension OP-S, le silicium précipite en relief, 100x.

Après un polissage d'1 minute à la suspension OP-U, le résultat est vérifié au microscope. Si nécessaire, le polissage devra être poursuivi pendant encore une minute et le résultat vérifié de nouveau. Il est recommandé de continuer ce processus de polissage/vérification jusqu'à ce qu'un résultat offrant la qualité requise soit obtenu.

(Env. 30 s. avant la fin du polissage, verser l'eau sur le drap de polissage pour rincer l'échantillon ainsi que le drap. Puis, nettoyer l'échantillon de nouveau à l'eau du robinet et le sécher. Noter: Un polissage trop long à la suspension d'oxyde de silicium OP-S peut causer un relief prononcé, voir Fig.11).

Les données suivantes sont calculées pour la préparation automatique de 6 échantillons enrobés, 30 mm, serrés dans un porte-échantillons:

### Aluminium - Coulée de silicium Prépolissage

Etape	PG	FG
<b>Support</b>	MD-Molto	MD-Largo
<b>Abrusif</b>	Type: Diamant Taille: #220	Diamant 9 µm
<b>Suspension / Lubrifiant</b>	Eau	DiaPro Allegro/Largo
<b>t/m</b>	300	150
<b>Force (N)/ échantillon</b>	25	30
<b>Temps (min.)</b>	Jusqu'à planéité	4

### Polissage

Etape	DP	OP
<b>Support</b>	MD-Mol	MD-Chem
<b>Abrusif</b>	Type: Diamant Taille: 3 µm	Silice colloïdale 0.04 µm
<b>Suspension / Lubrifiant</b>	DiaPro Mol R	OP-U NonDry
<b>t/m</b>	150	150
<b>Force (N)/ échantillon</b>	25	15
<b>Temps (min.)</b>	3	1

**Le polissage électrolytique** est tout particulièrement adapté à l'aluminium pur et aux alliages corroyés. Il laisse la surface sans rayures et est souvent utilisé pour le contrôle qualité, car il offre des résultats rapides et reproductibles.

Pour une détermination de routine de la taille de grain à 100x, un prépolissage grossier sur papier-SiC 1000# est suffisant, et les surfaces laminées ou étirées ne nécessitent aucun

### Aluminium pur - Prépolissage

Etape	PG	FG 1	FG 2	FG 3
<b>Support</b>	SiC- Foil	SiC-Foil	SiC-Foil	SiC-Foil
<b>Granulométrie</b>	Type: SiC	SiC	SiC	SiC
	Taille: #320/500	#800	#1200	#4000
<b>Suspension /Lubrifiant</b>	Eau	Eau	Eau	Eau
<b>t/m</b>	300	300	300	300
<b>Force (N)/ échantillon</b>	25	25	25	25
<b>Temps (min.)</b>	Jusqu'à planéité	0.5	0.5	0.5

### Polissage

Etape	DP	OP	
<b>Support</b>	MD-Mol**	MD-Chem	*Pour éviter les rayures grossières, le papier-SiC peut être passé à la cire avant le prépolissage. **Alternative MD-Dac
<b>Granulométrie</b>	Type: Diamant	Silice colloïdale	
	Taille: 3 µm	0.04 µm	
<b>Suspension /Lubrifiant</b>	DiaPro Mol R	OP-U or OP-S NonDry	
<b>t/m</b>	150	150	
<b>Force (N)/ échantillon</b>	25	15	
<b>Temps (min.)</b>	4	2-5	

### Aluminium pur, méthode alternative Prepolissage

Etape	PG	FG
<b>Surface</b>	SiC- Foil	MD-Pan
<b>Granulométrie</b>	Type: SiC	Diamant
	Taille: #320	15 µm
<b>Suspension /Lubrifiant</b>	Eau	DiaPro Pan
<b>t/m</b>	300	150
<b>Force (N)/ échantillon</b>	25	25
<b>Temps (min.)</b>	Jusqu'à planéité	5

### Polissage

Etape	DP	OP
<b>Support</b>	MD-Dac or MD/Dur	MD-Chem
<b>Granulométrie</b>	Type: Diamant	Silice colloïdale
	Taille: 3 µm	0.04 µm
<b>Taille de grain / Suspension /Lubrifiant</b>	DiaPro Dac/Dur	OP-U or OP-S NonDry
<b>t/m</b>	150	150
<b>Force (N)/ échantillon</b>	25	15
<b>Temps (min.)</b>	4	2-5

\*Pour éviter les rayures grossières, le papier-SiC peut être passé à la cire avant le prépolissage.

prépolissage ou polissage. Pour l'aluminium pur et les examens précis des formes de grain, les échantillons doivent subir un prépolissage fin à 2000# et parfois même à 4000# avant le polissage électrolytique. A cause des nombreuses phases différentes présentes dans les alliages coulés, ils ne sont pas adaptés au polissage électrolytique.

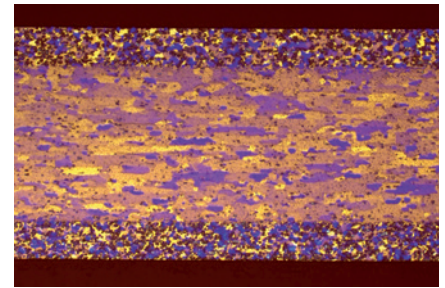


Fig. 12: feuille plaquée, anodisée, les zones de grain sont clairement visible et adaptée à l'analyse par images automatique, lumière polarisée avec plaque λ/4, 100x.

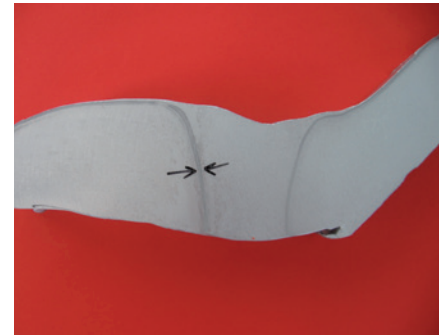


Fig. 13: Pièce pressée, après attaque macro, des précipités primaires et hétérogènes sont révélés qui ont un effet négatif sur la surface du produit fini.

Electrolyte:	A2
Masque:	2 cm <sup>2</sup>
Tension:	39 V
Taux de flux:	10
Temps:	20 s.

Après le polissage, une anodisation au réactif de Barker donne un contraste coloré particulièrement adapté à l'évaluation de la taille de grain. Pour obtenir cet effet coloré, une lumière polarisée avec une lame teinte sensible λ/4 est utilisée (Fig.12).

Electrolyte:	200 ml d'eau 10 ml d'acide fluor borique (35%) (Barker)
Masque:	2 cm <sup>2</sup>
Tension:	24 V
Taux de flux:	8
Temps:	1-2 min.

### Attaque et structure

Les réactifs d'attaque macro sont utilisés pour l'évaluation de la taille de grain; également pour montrer les lignes de glissement provenant de l'extrusion (Fig.13) et pour révéler les joints de soudure. Avant l'attaque, l'échantillon doit être prépoli à 1200# ou 2400#.

Les nombreuses possibilités d'alliage de l'aluminium donnent une grande variété de phases différentes ne pouvant pas toujours être clairement identifiées dans certains des alliages à composants multiples. Certaines des phases bien connues ont les couleurs caractéristiques suivantes (voir aussi Fig. 6):

Si	Gris
Mg <sub>2</sub> Si	Bleu foncé terne lors du polissage (en coulée: écriture chinoise)
Al <sub>2</sub> Cu	Marron rosé, cuivré
Al <sub>6</sub> Mn	Gris clair

**Struers ApS**

 Pederstrupvej 84  
 DK-2750 Ballerup, Denmark  
 Phone +45 44 600 800  
 Fax +45 44 600 801  
 struers@struers.dk  
 www.struers.com

**NETHERLANDS**
**Struers GmbH Nederland**  
 Zomerdijk 34 A  
 3143 CT Maassluis  
 Telefoon +31 (10) 599 7209  
 Fax +31 (10) 5997201  
 netherlands@struers.de

**NORWAY**
**Struers ApS, Norge**  
 Sjeskogenvieien 44C  
 1407 Vinterbro  
 Telefon +47 970 94 285  
 info@struers.no

**AUSTRIA**
**Struers GmbH**  
 Zweigniederlassung Österreich  
 Betriebsgebiet Puch Nord 8  
 5412 Puch  
 Telefon +43 6245 70567  
 Fax +43 6245 70567-78  
 austria@struers.de

**POLAND**
**Struers Sp. z o.o.**  
 Oddział w Polsce  
 ul. Jasnogórska 44  
 31-358 Kraków  
 Phone +48 12 661 20 60  
 Fax +48 12 626 01 46  
 poland@struers.de

**ROMANIA**
**Struers GmbH, Sucursala Bucuresti**  
 Str. Preciziei nr. 6R  
 062203 sector 6, Bucuresti  
 Phone +40 (31) 101 9548  
 Fax +40 (31) 101 9549  
 romania@struers.de

**SWITZERLAND**
**Struers GmbH**  
 Zweigniederlassung Schweiz  
 Weissenbrunnstraße 41  
 CH-8903 Birrensdorf  
 Telefon +41 44 777 63 07  
 Fax +41 44 777 63 09  
 switzerland@struers.de

**SINGAPORE**
**Struers Singapore**  
 627A Aljunied Road,  
 #07-08 BizTech Centre  
 Singapore 389842  
 Phone +65 6299 2268  
 Fax +65 6299 2661  
 struers.sg@struers.dk

**SPAIN**
**Struers España**  
 Camino Cerro de los Gamos 1  
 Building 1 - Pozuelo de Alarcón  
 CP 28224 Madrid  
 Teléfono +34 917 901 204  
 Fax +34 917 901 112  
 struers.es@struers.es

**FINLAND**
**Struers ApS, Suomi**  
 Hietalahdenranta 13  
 00180 Helsinki  
 Puhelin +358 (0)207 919 430  
 Faksi +358 (0)207 919 431  
 finland@struers.fi

**SWEDEN**
**Struers Sverige**  
 Box 20038  
 161 02 Bromma  
 Telefon +46 (0)8 447 53 90  
 Telefax +46 (0)8 447 53 99  
 info@struers.se

**UNITED KINGDOM**
**Struers Ltd.**  
 Unit 11 Evolution@ AMP  
 Whittle Way, Catcliffe  
 Rotherham S60 5BL  
 Tel. +44 0845 604 6664  
 Fax +44 0845 604 6651  
 info@struers.co.uk

**USA**
**Struers Inc.**  
 24766 Detroit Road  
 Westlake, OH 44145-1598  
 Phone +1 440 871 0071  
 Fax +1 440 871 8188  
 info@struers.com

08.03.2019 / 62340407

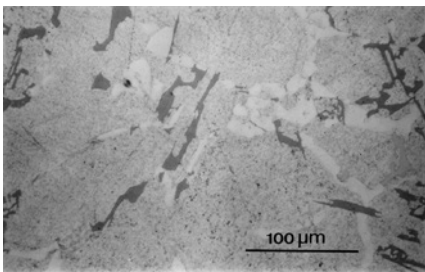
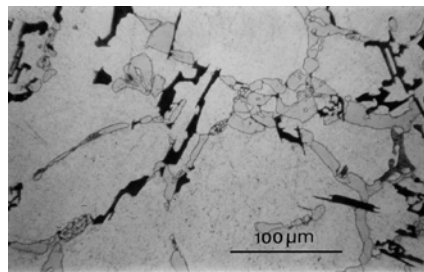


Fig.15: Alliage d'aluminium expérimental avec 6% de Si et 10% de cuivre, non-attaqué.


 Fig.16: Comme Fig.15 mais attaqué pendant 30 s. avec 1g d'acide molybdique dans 200 ml d'eau + 6 g de chlorure d'ammonium. Le silicium est bleu foncé et se distingue du CuAl<sub>2</sub> grisâtre.

Selon le contenu de l'alliage, ces phases eutectiques peuvent, parfois, être reconnues par la forme typique de leur eutectique. Les ouvrages à ce sujet indiquent des réactifs pouvant être utilisés pour l'identification de ces phases (Fig.15 et 16).

Les alliages corroyés avec une structure fortement déformée tels que les tôles ou les feuilles très minces sont difficiles à contraster avec des réactifs chimiques; cela peut rendre difficile l'analyse par images automatique. Il est recommandé d'anodiser l'échantillon au réactif de Barker puis d'évaluer la structure "manuellement" au microscope, car parfois, même avec Barker, le contraste n'est pas suffisant pour une analyse par images automatique. Il faut noter que certaines spécifications pour les alliages corroyés nécessitent une détermination "manuelle" de la taille de grain, car l'analyse par images n'est pas suffisamment précise.

**Solutions d'attaque**

*Noter:* Lors du travail avec des produits chimiques, les précautions de sécurité standards doivent être observées.

**Attaque macro**

Pour l'aluminium pur	90 ml d'eau 15 ml d'acide chlorhydrique 10 ml d'acide fluorhydrique
Attaque profonde pour révéler la structure dendritique primaire	100 ml d'eau 10-25g d'hydroxyde de sodium

**Attaque micro**

Réactif de Flick: Attaque de la limite des grains pour la plupart des types d'aluminium et alliages	90-100 ml d'eau 0,1-10 ml d'acide fluorhydrique
Réactif de Dix et Keller: Attaque de la région des grains pour les alliages d'Al avec du cuivre, aussi adéquat pour l'aluminium pur.	190 ml d'eau 5 ml d'acide nitrique 10 ml d'acide chlorhydrique 2 ml d'acide fluorhydrique
Réactifs d'attaque colorée: Solution d'acide molybdique selon Klemm ou Weck	

**Résumé**

Sa faible densité, sa grande robustesse et résistance à la corrosion font de l'aluminium et de ses alliages le matériau de prédilection pour de nombreuses applications dans, entre autres, l'industrie automobile, aéronautique/aérospatiale et du conditionnement. La métallographie est utilisée pour le contrôle qualité pour la détermination de la taille de grain,

l'évaluation des phases, des impuretés et des défauts mécaniques. L'aluminium pur est très sujet à la déformation et donc, le prépolissage ne devra pas être accompli à une granulométrie grossière. Un polissage final très soigné à la suspension d'oxyde de silicium est nécessaire pour assurer que les particules diamantées incrustées soient complètement éliminées de la surface des échantillons. Les alliages coulés d'aluminium sont polis relativement facilement et rapidement. Pour l'évaluation de la taille de grain, l'anodisation au réactif d'attaque de Barker est particulièrement adapté, car il offre un meilleur contraste que l'attaque chimique. Différentes phases dans les alliages coulés peuvent soit être identifiées par leur couleur caractéristique, soit par une attaque avec des solutions spécifiques attaquant certaines phases préférentielles.

**Auteurs**

 Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier,  
 Struers A/S, Copenhagen, Denmark

**Remerciements**

Nous aimerions remercier AMAG rolling GmbH, Ranshofen, Autriche, pour nous avoir fourni des échantillons et nous avoir donné la permission de reproduire la photo de la page 3 avec les lampes. Merci tout particulièrement à Mme. Petra Mersch et au Dr. Reinhardt Rachlitz pour leur soutien.

Nous désirons également remercier Austria Alu-Guss-Gesellschaft G.m.b.H., Ranshofen, Autriche, pour nous avoir donné la permission de reproduire la photo de la jante d'aluminium de la page 1.

Nous souhaitons aussi remercier M. Thomas Zwiég, Danish Institute of Technology, Aarhus, Danemark, pour nous avoir donné la permission de reproduire la Fig.17.

**Bibliographie**

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

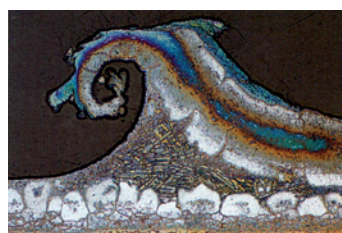


Fig.17: Bavure sur une soudure d'un échangeur thermique, préattaqué avec de l'hydroxyde de sodium, après attaque colorée au permanganate de potassium selon Weck.

**AUSTRALIA & NEW ZEALAND**
**Struers Australia**  
 27 Mayneview Street  
 Milton QLD 4064  
 Australia  
 Phone +61 7 3512 9600  
 Fax +61 7 3369 8200  
 info.au@struers.dk

**BELGIUM (Wallonie)**
**Struers S.A.S.**  
 370, rue du Marché Rollay  
 F- 94507 Champigny  
 sur Marne Cedex  
 Téléphone +31 1 5509 1430  
 Télécopie +33 1 5509 1449  
 struers@struers.fr

**BELGIUM (Flanders)**
**Struers GmbH Nederland**  
 Zomerdijk 34 A  
 3143 CT Maassluis  
 Telefoon +31 (10) 599 7209  
 Fax +31 (10) 5997201  
 netherlands@struers.de

**CANADA**
**Struers Ltd.**  
 7275 West Credit Avenue  
 Mississauga, Ontario L5M 5M9  
 Phone +1 905-814-8855  
 Fax +1 905-814-1440  
 info@struers.com

**CHINA**
**Struers Ltd.**  
 No. 1696 Zhang Heng Road  
 Zhang Jiang Hi-Tech Park  
 Shanghai 201203, P.R. China  
 Phone +86 (21) 6035 3900  
 Fax +86 (21) 6035 3999  
 struers@struers.cn

**CZECH REPUBLIC & SLOVAKIA**
**Struers GmbH Organizační složka vědeckotechnický park**  
 Pilspešská 1920,  
 CZ-252 63 Roztoky u Prahy  
 Phone +420 233 312 625  
 Fax +420 233 312 640  
 czechrepublic@struers.de  
 slovakia@struers.de

**GERMANY**
**Struers GmbH**  
 Carl-Friedrich-Benz-Straße 5  
 D- 47877 Willich  
 Telefon +49 (0) 2154 486-0  
 Fax +49 (0) 2154 486-222  
 verkauf@struers.de

**FRANCE**
**Struers S.A.S.**  
 370, rue du Marché Rollay  
 F-94507 Champigny  
 sur Marne Cedex  
 Téléphone +33 1 5509 1430  
 Télécopie +33 1 5509 1449  
 struers@struers.fr

**HUNGARY**
**Struers GmbH**  
 Magyarországi Fióktelepe  
 2040 Budaörs  
 Szabadság utca 117  
 Phone +36 2380 6090  
 Fax +36 2380 6091  
 Email: hungary@struers.de

**IRELAND**
**Struers Ltd.**  
 Unit 11 Evolution@ AMP  
 Whittle Way, Catcliffe  
 Rotherham S60 5BL  
 Tel. +44 0845 604 6664  
 Fax +44 0845 604 6651  
 info@struers.co.uk

**ITALY**
**Struers Italia**  
 Via Monte Grappa 80/4  
 20020 Arese (MI)  
 Tel. +39-02/38236281  
 Fax +39-02/38236274  
 struers.it@struers.it

**JAPAN**
**Marumoto Struers K.K.**  
 Takanawa Muse Bldg. 1F  
 3-14-13 Higashi-Gotanda,  
 Shinagawa  
 Tokyo  
 141-0022 Japan  
 Phone +81 3 5488 6207  
 Fax +81 3 5488 6237  
 struers@struers.co.jp