

PRÉPARATION MÉTALLOGRAPHIQUE ALUMINIUM

INTRODUCTION

L'aluminium est un métal assez récent en comparaison avec le fer ou le cuivre puisqu'il est apparu dans la deuxième moitié du 19ème siècle. L'aluminium n'existe pas pur dans la nature. Il existe sous forme de minerais, le plus connu étant la bauxite. Aujourd'hui, c'est un des métaux le plus utilisé en industrie dans le monde après l'acier, et c'est un des éléments les plus abondants dans la croûte terrestre.

ALUMINIUM

Symbole : **Al**

N° Atomique : **13**

Densité : **2,7**

Masse molaire : **27 g.mol⁻¹**

T°C fusion : **660 °C**

La fabrication de l'aluminium se déroule en plusieurs étapes :

- Tout d'abord il y a l'extraction du minerai de Bauxite (contient 60% d'oxyde d'aluminium Al_2O_3 , de l'oxyde de fer Fe_2O_3 de 20 à 30% et des oxydes de silicium SiO_2 et de titane TiO_2 en plus faible quantité).
- Cette bauxite est ensuite transformée en alumine à l'aide de soude, sous haute température et forte pression.
- L'alumine obtenue précédemment est dissoute dans un bain de cryolite, la cuve est traversée par un courant électrique. Cette opération appelée électrolyse, va permettre de récupérer l'aluminium à la cathode.

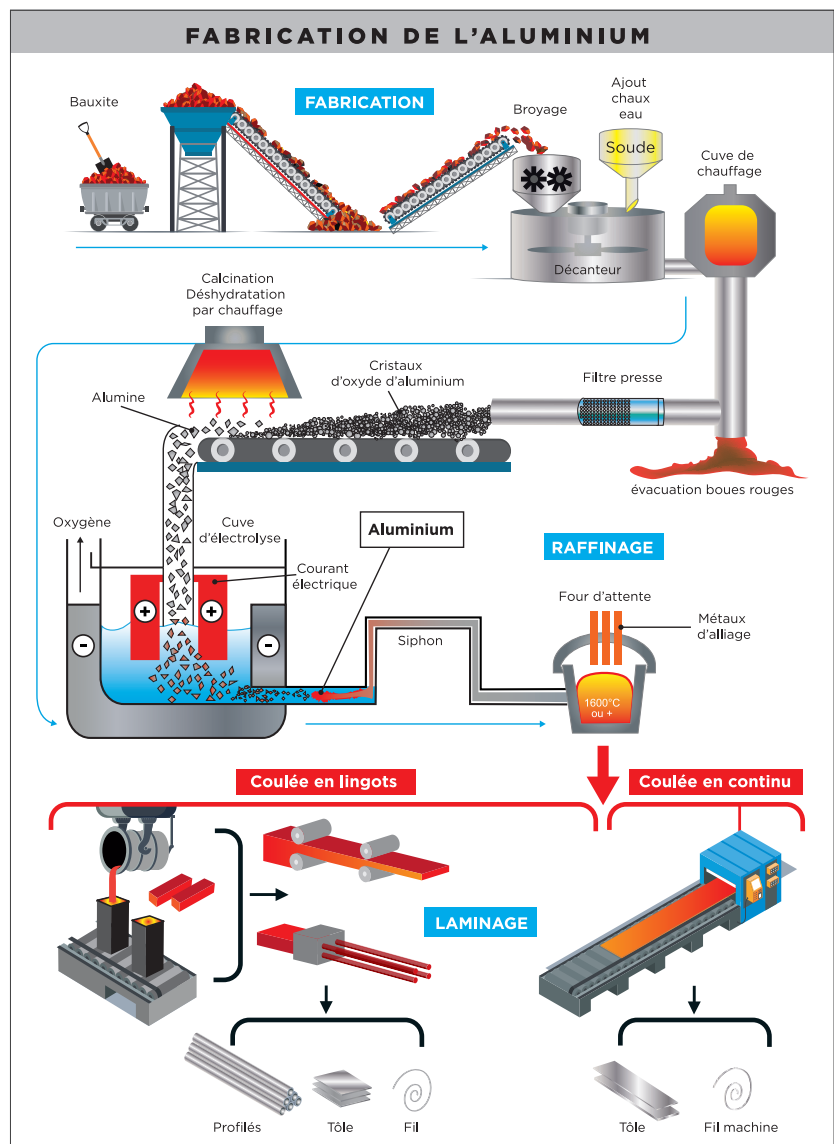


Fig. 1 : Elaboration de l'aluminium

L'aluminium est un métal qui peut être recyclé à l'infini sans perdre ses propriétés physiques et chimiques. Le recyclage de l'aluminium est un processus moins coûteux en énergie que pour l'élaboration de l'aluminium primaire (extrait de la bauxite).

Les éléments d'alliage permettent d'améliorer les propriétés de l'aluminium :

- Le magnésium va améliorer la résistance à la corrosion
- Le silicium permet d'augmenter la malléabilité de l'alliage en fonderie
- Le cuivre va durcir l'aluminium
- Le zinc et le manganèse sont aussi des éléments d'addition majeurs pour l'élaboration des alliages d'aluminium

Il existe deux grandes familles d'aluminium :

LES ALUMINIUMS CORROYÉS

Ils subissent une déformation à chaud et sont coulés en plaques ou billettes pour ensuite être transformés à chaud par laminage, forgeage, filage... La désignation des aluminiums corroyés la plus utilisée est la désignation numérique (NF EN 573-1) à 4 chiffres, précédés de EN AW.

Le 1^{er} chiffre détermine le groupe d'alliage auquel appartient l'aluminium.

Le 2nd chiffre pour le groupe 1, correspond aux éventuelles impuretés contenues dans l'aluminium. **Le 2nd chiffre pour les autres groupes** correspond aux modifications de la composition chimique de l'alliage.

Les 3^{ème} et 4^{ème} chiffres permettent pour l'alliage du groupe 1 de définir son pourcentage au-delà de 99% et pour les autres groupes, ils servent à reconnaître un alliage dans son groupe.

Exemple : EN AW - 2024 est un alliage d'aluminium à 4 % de cuivre et 1,5% de magnésium. (Le W « wrought » dans la désignation correspond à un alliage corroyé).

LES ALUMINIUMS DE FONDERIE

Ils sont coulés dans des moules où après refroidissement l'on récupère le produit fini. Peu de reprises sont effectuées sur les pièces moulées. Ces pièces sont destinées au secteur de l'automobile, l'aéronautique, du matériel de maintenance...

La désignation des aluminiums de fonderie se réfère aux normes NF EN 1780-1, -2 et -3.

Pour la désignation numérique, c'est une série de 5 chiffres dont le premier se réfère au tableau 1 des alliages corroyés. Les 3 derniers chiffres expriment la composition chimique de l'alliage.

Groupe	Aluminium ou Alliage
1	Aluminium (teneur \geq 99,00%)
2	Aluminium - cuivre
3	Aluminium - manganèse
4	Aluminium - silicium
5	Aluminium - magnésium
6	Aluminium - magnésium-silicium
7	Aluminium - zinc
8	Autres alliages d'aluminium

Tableau 1 : Groupes d'alliage d'aluminium

Exemple : EN AC - 42000 est un alliage d'aluminium à 7% de silicium avec des traces de magnésium.

Pour la désignation symbolique, ce sont les symboles chimiques des éléments d'addition et leurs teneurs massiques respectives qui suivent les lettres EN AC (C correspondant à « cast » pour alliage moulé). Dans l'exemple précédent cela donne : EN AC - AlSi7Mg

Enfin la norme NF EN 1706 indique la composition chimique limite de chaque alliage ainsi que les caractéristiques mécaniques pour ces alliages moulés.

LES TRAITEMENTS DE SURFACE DE L'ALUMINIUM

Les aluminiums peuvent subir deux traitements de surface :

L'ANODISATION

C'est un traitement de surface qui permet de créer une couche par conversion d' Al_2O_3 pour protéger et/ou décorer une pièce en aluminium. C'est l'anodisation sulfurique qui est la plus couramment utilisée. La pièce est placée en anode dans un bain d'acide sulfurique. La couche d'alumine va se former selon la réaction suivante :



Cette couche est poreuse. Une étape de colmatage dans de l'eau bouillante permet de fermer les pores de la couche d'alumine. Une étape intermédiaire de coloration peut être réalisée avant le colmatage.

Certains alliages d'aluminium ont été développés spécialement pour ce traitement et l'épaisseur de l'anodisation peut aller de 5 à 50 μm . Ce traitement de surface améliore la résistance à la corrosion et est utilisé dans un but esthétique également.

LE THERMOLAQUAGE

Aussi appelé poudrage électrostatique, le thermolaquage est un procédé qui permet d'appliquer une peinture sous forme de poudre à l'aide d'un pistolet. La poudre est chargée positivement par un champ électrique tandis que la pièce est reliée à la charge négative. Une cuisson finale dans un four permet à la peinture de polymériser et de se fixer durablement sur la pièce. Ce procédé confère de bonnes propriétés anti-corrosion, une bonne longévité et un bel aspect final sur la pièce.

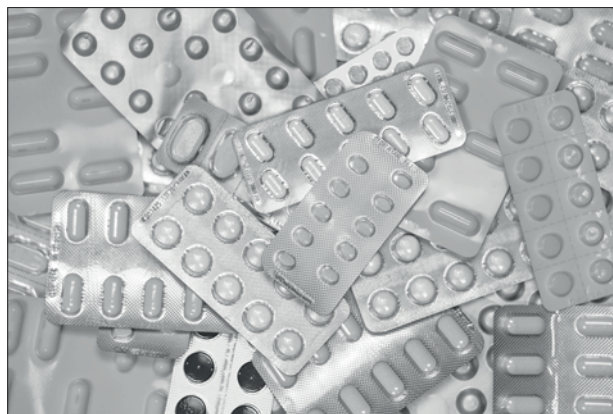
INTÉRÊTS ET APPLICATIONS DE L'ALUMINIUM ET SES ALLIAGES

L'aluminium et ses alliages présentent de nombreuses qualités :

- La résistance mécanique : elle est améliorée grâce à l'apport d'éléments d'addition dans l'aluminium.
- La résistance à la corrosion : une couche d'oxydes se forme naturellement sur l'aluminium et le protège de la corrosion. Le traitement de surface d'anodisation peut améliorer cette résistance à la corrosion.
- La conductivité thermique et électrique : elle est très bonne c'est pourquoi l'aluminium est souvent utilisé pour des applications d'évacuation de chaleur. La conductivité électrique de l'aluminium est égale à 65% de celle du cuivre.
- La légèreté : particulièrement appréciée dans l'aérospatiale et l'aéronautique, cette caractéristique est très importante dans ces domaines.
- L'imperméabilité : l'aluminium ne laisse passer ni la lumière, ni odeur, ni micro-organismes. C'est pourquoi il est utilisé pour l'emballage alimentaire et pharmaceutique.



L'aluminium est utilisé dans la construction aéronautique et spatiale, ou encore l'industrie automobile.



L'aluminium est également très utilisé dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique.



Dans le domaine du bâtiment, l'aluminium est très utilisé pour la fabrication de fenêtre, baie vitrée, des profilés sur des façades extérieures...

PRÉPARATION MÉTALLOGRAPHIQUE

L'obtention d'une surface d'examen nécessite une succession d'opérations aussi importantes les unes que les autres quel que soit le matériau. Ces étapes sont dans l'ordre :

- Le prélèvement du produit à examiner (si nécessaire), appelé « TRONCONNAGE ».
- La standardisation de la géométrie de l'échantillon prélevé (si nécessaire), appelée « ENROBAGE ».
- L'amélioration de l'état de surface de cet échantillon, appelée « POLISSAGE ».
- La caractérisation de l'échantillon : révélation de la microstructure de l'échantillon par un réactif d'attaque (si nécessaire) appelée « ATTAQUE METALLOGRAPHIQUE » et l'observation microscopique (optique ou électronique).

=> Chacune de ces étapes doit être effectuée rigoureusement sous peine de rendre les étapes suivantes irréalisables.

TRONÇONNAGE

Le tronçonnage a pour but de prélever une partie précise d'un produit, de manière à obtenir une surface d'examen convenable, sans altérer les propriétés physico-chimiques des aluminiums. En d'autres termes, il est indispensable d'éviter un échauffement ou une déformation des aluminiums pouvant entraîner des modifications de structure. Le tronçonnage est une étape fondamentale qui conditionne la suite de la préparation et l'observation des pièces.

La large gamme de micro-tronçonneuses et tronçonneuses de moyenne et grande capacité PRESI permet de s'adapter à n'importe quel besoin en termes de précision de découpe, de dimensionnement ou de quantité de produits à découper :



Fig 2 : MECATOME T202



Fig 3 : MECATOME T330

Chacune des tronçonneuses de la gamme bénéficie de consommables et d'accessoires qui leur sont adaptés. Le système de bridage et le choix de ces consommables sont toujours des éléments essentiels pour la réussite d'une coupe métallographique.

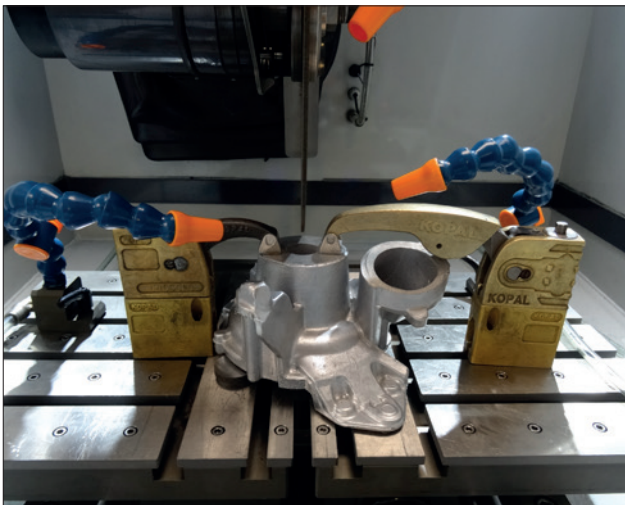


Fig. 4 : Bridage Turbo - EVO 400

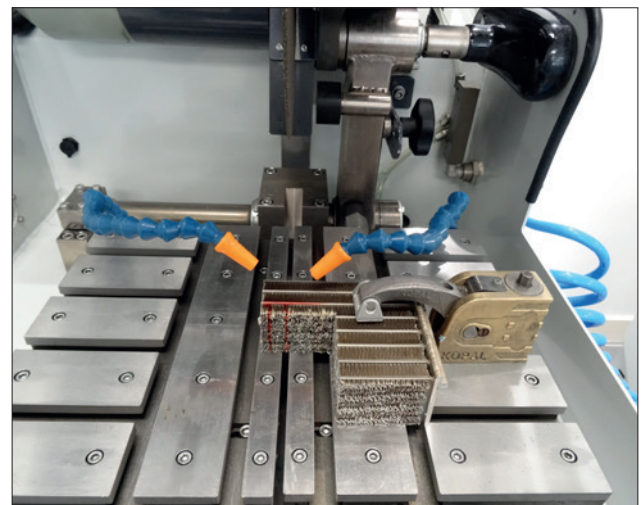


Fig. 5 : Bridage échangeur - ST310

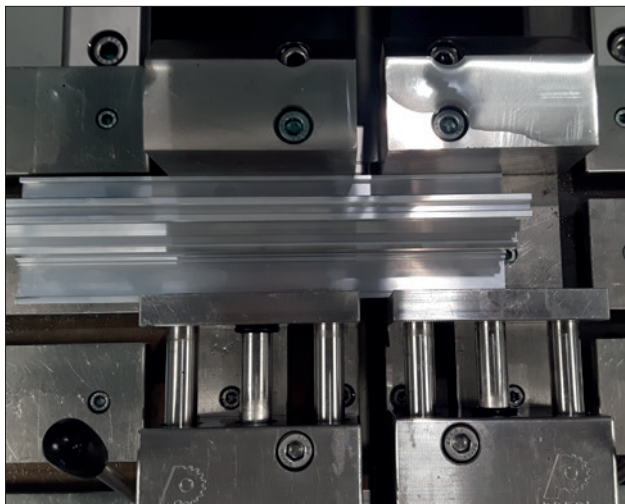


Fig. 6 : Bridage profilé - T330

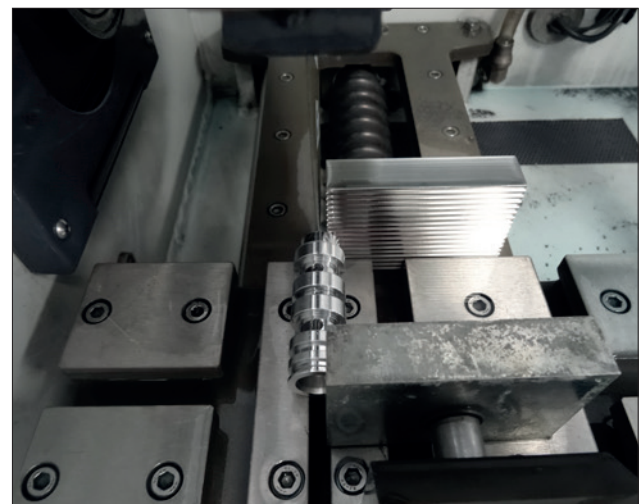



Fig. 7 : Bridage pièce révolution - T210

=> Le bridage, c'est-à-dire le maintien de la pièce, est également primordial. En effet, si la pièce n'est pas bien maintenue, la coupe peut présenter des risques pour le consommable, la pièce et la machine. Sur les figures précédentes, différents bridages sont employés selon la géométrie des pièces à découper. Dans les cas présents, des brides Kopal et des étaux à serrage rapide ont été utilisés. L'ensemble de ces moyens de bridage sont adaptables sur les différentes machines de tronçonnage (dans les exemples ci-dessus : Mecatome ST310, EVO 400 et Mecatome T330 ou encore Mecatome T210).

CONSOMMABLES

Toutes les tronçonneuses sont employées avec un liquide de lubrification/refroidissement composé d'un mélange d'eau et d'additif antirouille dans le but d'obtenir une découpe propre et sans échauffement. L'additif permet également de protéger l'échantillon et la machine de la corrosion.



	ALUMINIUM ET SES ALLIAGES
Micro-tronçonnage	MNF UTW S (Ø 180mm) C
Tronçonnage de moyenne capacité	MNF
Tronçonnage de grande capacité	MNF

Tableau 2 : Choix du type de meule

=> Le choix du type de meules de tronçonnage doit se faire judicieusement dans le but d'éviter un éventuel refus de coupe, une usure trop importante ou encore une casse de la meule.

ENROBAGE

Les échantillons peuvent être difficiles à manipuler du fait de leur forme complexe, de leur fragilité ou de leur petite taille. L'enrobage facilite ainsi leur manipulation en standardisant leur géométrie et leurs dimensions.

Réaliser un enrobage de qualité est essentiel afin de protéger les matériaux fragiles mais également pour obtenir de bons résultats de préparation en vue du polissage et des futures analyses.

Avant toute opération d'enrobage, l'échantillon doit être ébavuré à l'aide par exemple, d'un papier abrasif (pour éliminer les éventuelles bavures de coupe) suivi d'un nettoyage à l'éthanol (dans un bac à ultrasons pour encore plus d'efficacité). Cette opération permet à la résine d'adhérer au mieux sur l'échantillon et limite ainsi le phénomène de retrait (gap entre la résine et l'échantillon).

Si le phénomène de retrait persiste, il peut poser des problèmes lors du polissage. Si des grains d'abrasifs se coincent dans le retrait puis se libèrent lors d'une étape ultérieure, il y a un risque de pollution pour le support et l'échantillon. Dans ce cas, un nettoyage au bac à ultrasons entre chaque étape est recommandé.

Il existe deux procédés d'enrobages :

• **LE PROCÉDÉ À CHAUD** est à privilégier pour des besoins d'exams de bords ou si la préparation métallographique est effectuée dans le but de réaliser des essais de dureté. **Le procédé à chaud nécessite l'utilisation d'une enrobeuse à chaud.**



Fig 8 : MECAPRESS 3

La machine nécessaire à l'enrobage à chaud est la Mecapress 3 :

- Presse d'enrobage à chaud totalement automatique.
- Simple d'utilisation, la mémorisation, l'ajustement des procédés et la rapidité d'exécution en font une machine de haute précision.
- L'enrobeuse à chaud propose six moules de diamètres différents allant de Ø25,4mm à Ø50mm.

LE +

Un des principaux avantages que présente ce procédé est la réalisation d'un enrobage aux faces parfaitement parallèles.

• **LE PROCÉDÉ À FROID** est à privilégier quand :

- Les pièces à examiner sont fragiles / sensibles à la pression
- Les pièces présentent une géométrie complexe (structure en nid d'abeille).
- Le besoin est d'enrober un grand nombre de pièces en série.

Le procédé à froid peut être utilisé avec :



Fig 9 : Appareil d'enrobage sous pression

LE +

Améliore considérablement la qualité, notamment en diminuant le phénomène de retrait (espace entre la résine et l'échantillon), en optimisant la transparence de la résine.



Fig 10 : Appareil d'enrobage sous vide
POLY'VAC

LE +

Machine permettant l'imprégnation sous vide de matériaux poreux enrobés par le biais d'une résine époxy.

Les résines à froid laissent toujours un ménisque au dos de l'enrobage. Avant toute opération de polissage, il faut éliminer ce ménisque par une courte étape sur un papier abrasif. L'important est de s'assurer que cette petite rectification au dos de l'enrobage soit parallèle à la face où l'échantillon est à polir.

CONSOMMABLES

Afin de répondre aux besoins, PRESI propose toute une gamme de moules d'enrobage à froid : Le procédé à froid propose différents moules d'enrobage de diamètre Ø20mm à Ø50mm. Ces derniers sont répartis en plusieurs sortes : des moules optimisés appelés « KM2.0 », des moules en caoutchouc, en téflon ou bien en polyéthylène. L'enrobage à froid permet aussi plus de liberté, c'est pourquoi il existe des moules rectangulaires pour des besoins plus spécifiques.


	ALUMINIUM ET SES ALLIAGES
A chaud	Phénolique Allylique
A froid	KM-U 2S IP

Tableau 3 : Choix du type de résine d'enrobage

Dans le cas d'un enrobage d'un échangeur en « nid d'abeille », il est conseillé de combiner l'utilisation du Poly'vac, qui va aider la résine à s'infiltrer dans l'échantillon, puis de l'appareil sous pression pour éliminer au maximum les bulles d'air.

Lorsque c'est la couche d'anodisation dure qui est à observer, il est conseillé d'enrober l'échantillon avec une résine qui donne un faible retrait afin de pouvoir observer au mieux cette couche d'anodisation.

POLISSAGE

La dernière phase incontournable et cruciale du processus de préparation d'un échantillon est le polissage. Le principe est simple, chaque étape utilise un abrasif plus fin que le précédent. L'objectif consiste à obtenir une surface plane et à éliminer les rayures et les défauts résiduels qui gêneraient la réalisation des examens de contrôles métallographiques tels que les analyses microscopiques, les essais de dureté, les contrôles de microstructure ou les contrôles dimensionnels.

PRESI propose une grande gamme de polisseuses manuelles et automatiques, avec un large choix d'accessoires, afin de couvrir tous les besoins, du pré-polissage à la superfinition et du polissage d'échantillons unitaires ou en série.

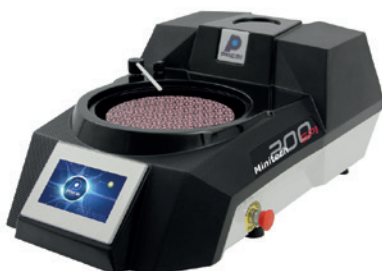


Fig 11 : MINITECH 300 SP1



Fig 12 : MECATECH 300 SPC

La gamme de polisseuses manuelles MINITECH intègre les technologies les plus avancées. Conviviale, fiable et robuste, elles apportent une réponse simple à tous les besoins.

La gamme de polisseuses automatiques MECATECH permet un polissage aussi bien manuel qu'automatique. Avec ses technologies avancées, ses puissances moteur de 750 à 1500 W, toute l'expérience de PRESI est concentrée dans cette gamme complète. Peu importe le nombre ou la taille des échantillons, MECATECH garantit un polissage optimal.

CONSOMMABLES ET GAMME DE POLISSAGE

Les gammes de polissage ci-dessous sont données pour une préparation automatique des échantillons (pour du polissage manuel : ne pas prendre en compte les paramètres de tête). Elles sont la plus couramment utilisées et sont renseignées à titre d'information et de conseil.

Toutes les premières étapes de chaque gamme sont appelées « mise à niveau » et consiste à retirer de la matière rapidement afin de mettre à niveau la surface de l'échantillon (et de la résine). Celles données ci-dessous sont standards et peuvent, par conséquent, être modifiées selon le besoin.

Les forces d'appui varient selon la taille des échantillons mais de manière générale il sera appliqué : 1daN par 10mm de diamètre d'enrobage pour les étapes de pré-polissage (ex : Ø40mm = 4 daN) puis la force sera diminuée de 0,5daN à chaque étape de polissage avec une suspension abrasive.

La gamme de polissage suivante est une gamme d'ordre général pour **l'aluminium et ses alliages** :

GAMME N°1

N°	Support	Suspension / Lubrifiant	Vplateau (tr/min)	Vtête (tr/min)	Sens de rotation Plateau / tête	Temps
1	P320	Eau / Ø	300	150	→ →	1'
2	TOP	9µm LDM / Reflex Lub	150	135	→ →	4'
3	RAM	3µm LDM / Reflex Lub	150	135	→ →	3'
4	NT	1µm LDM / Reflex Lub	150	135	→ →	1'
5	SUPRA	SPM / Eau	150	100	→ ←	1'

Nota : La mise à niveau à l'aide du papier abrasif P320 est suffisante pour un échantillon provenant d'une coupe métallographique. Si un enlèvement de matière plus important est nécessaire, il faut utiliser un papier abrasif avec une granulométrie plus importante.

Lors du prépolissage, il n'est pas nécessaire d'inverser les sens de rotation de la tête et du plateau car cela peut détériorer la planéité. Cependant, l'inversion des sens de rotation peut aider si un enlèvement de matière important est à faire.

Le polissage diamant peut être fait à l'aide d'une suspension diamantée monocristalline. Mais généralement l'utilisation d'une solution diamantée polycristalline fonctionne également (il faut rester vigilant aux éventuels grains d'abrasifs qui peuvent se planter dans l'aluminium). Cela peut être utile dans le cas de rationalisation de consommable si l'aluminium n'est pas le seul matériau à polir.

Si des grains d'abrasifs s'incruster dans le matériau, il est conseillé de polir avec la suspension diamantée monocristalline.

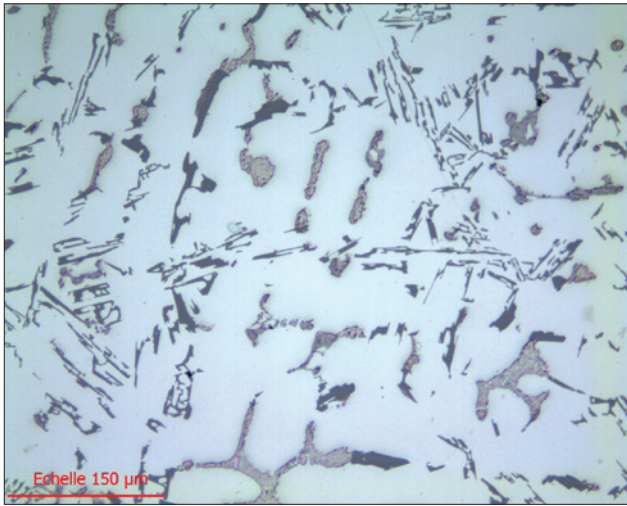


Fig. 13 Finition SPM objx20

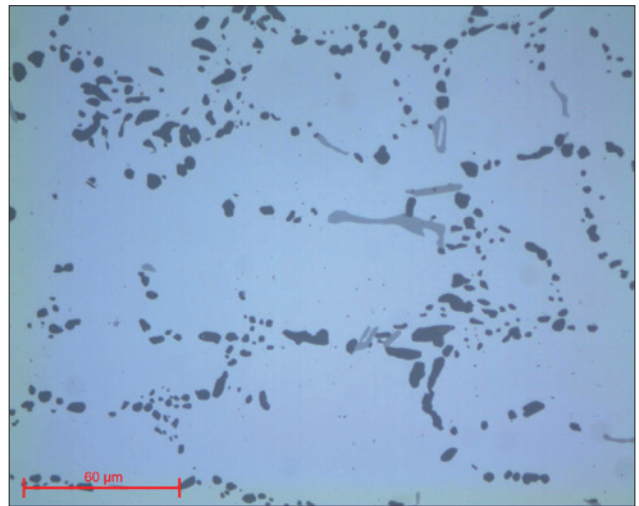


Fig. 14 Finition SPM objx50

Le plus important dans le polissage de l'aluminium, est de réaliser une superfinition à l'aide d'une suspension de silice colloïdale (SPM). Cette suspension de SPM peut être diluée jusqu'à 7 fois dans l'eau. Lors de cette étape, la rotation de la tête est inversée par rapport au plateau afin de conserver au maximum la suspension sur le tissu de polissage.

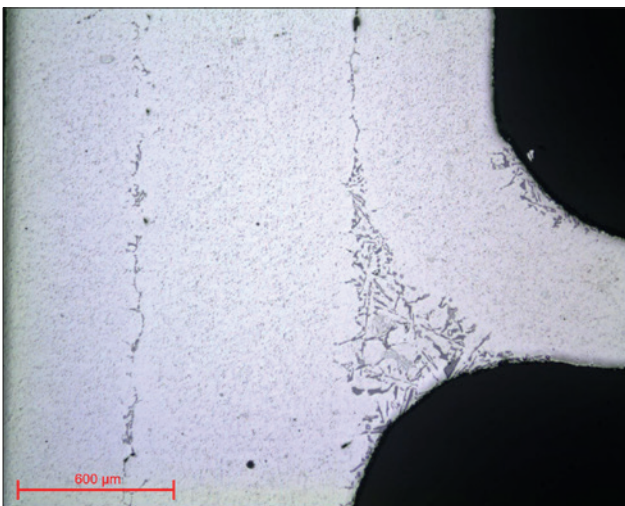


Fig. 15 : Brasure alu objx5

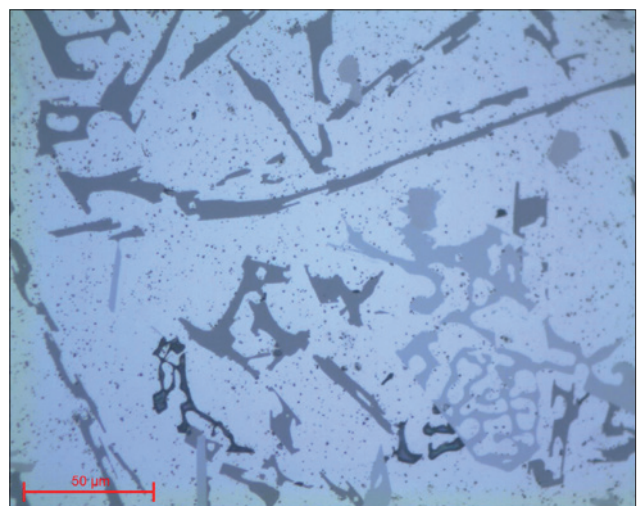


Fig. 16 : Brasure alu objx50

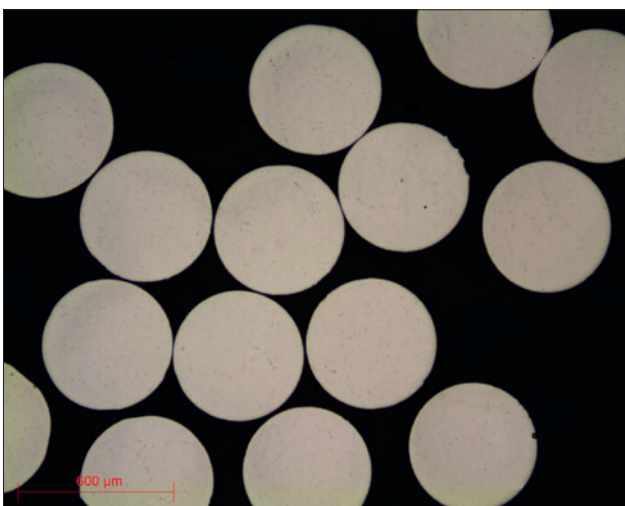


Fig. 17 : Fil aluminium objx5

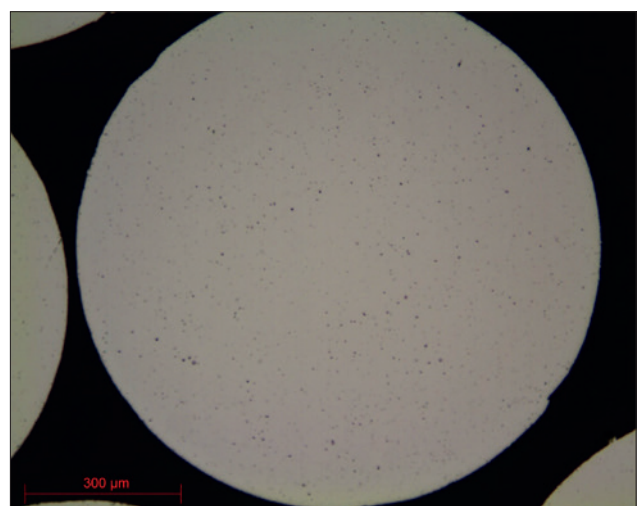


Fig. 18 : Fil aluminium objx10

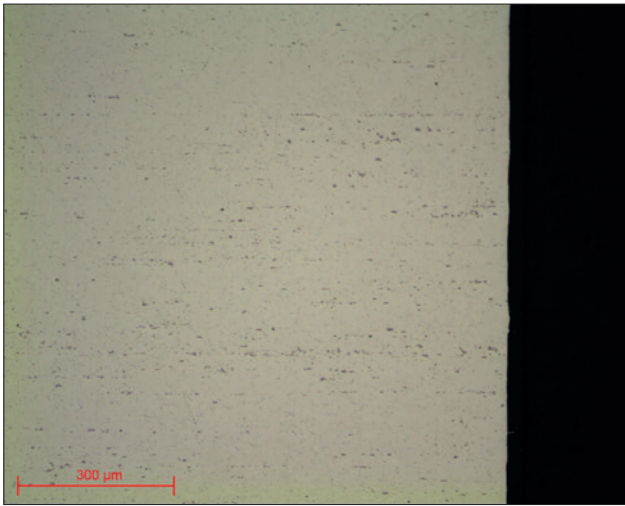


Fig. 19 : Aluminium anodisé objx10

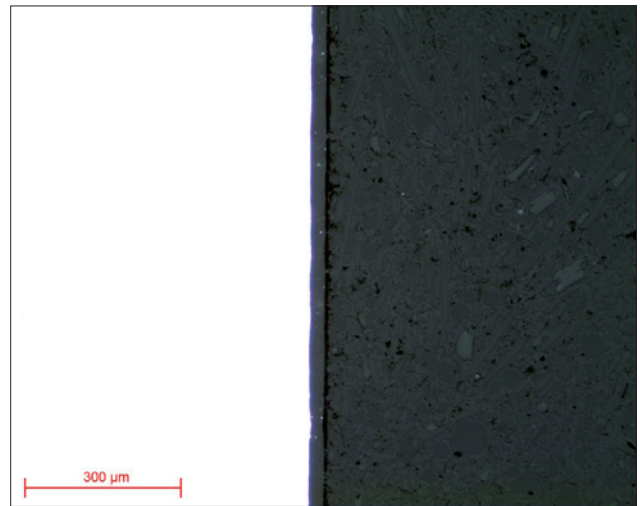


Fig. 20 : Anodisation objx10

Sur les figures 13 à 20, vous pouvez voir le résultat de polissage après réalisation de la gamme n°1 sur différents échantillons en aluminium.

Une seconde gamme de polissage peut être utilisée pour le polissage de **l'aluminium et ses alliages** :

GAMME N°2

N°	Support	Suspension / Lubrifiant	Vplateau (tr/min)	Vtête (tr/min)	Sens de rotation Plateau / tête	Temps
1	P320	Eau / Ø	300	150	→ →	1'
2	MED-R	9μm diamant MED R / Ø	150	135	→ →	4'
3	RAM	3μm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	3'
4	NT	1μm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	1'
5	SUPRA	SPM / Eau	150	100	→ ←	1'

Ici c'est un support MED-R qui est utilisé lors de la deuxième étape de cette gamme n°2. Ce disque de polissage est composé de plots de résine qui vont permettre de conserver une bonne planéité et remplacer plusieurs tissus de polissage.

Une suspension diamantée spécialement conçue pour le MED-R est utilisée sur ce support. Cette suspension allie le diamant et le lubrifiant.

Dans le cas de contrôle de soudure, une 3^{ème} gamme peut être spécialement adaptée pour ce type de contrôle.

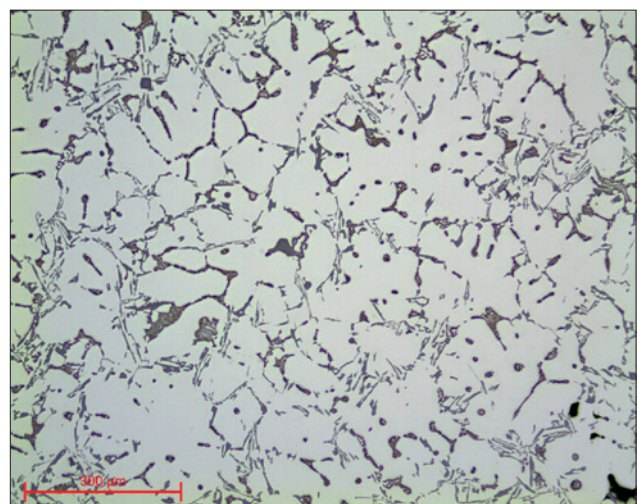


Fig. 21 : Finition SPM - Gamme MED-R objx10

GAMME N°3

N°	Support	Suspension / Lubrifiant	Vplateau (tr/min)	Vtête (tr/min)	Sens de rotation Plateau / tête	Temps
1	P320	Eau / Ø	300	150	→ →	1'
2	TOP	9µm Gel 2+ poly / Ø	150	135	→ →	4'
3	ADR II	3µm Gel 2+ poly / Ø	150	135	→ →	3'

Cette gamme se compose de 3 étapes, ce qui est suffisant pour l'observation des soudures sous une loupe trinoculaire, après attaque à l'aide d'un réactif.

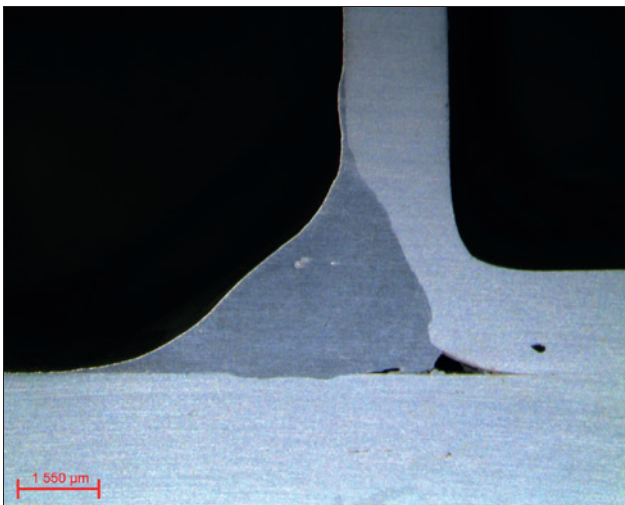


Fig. 22 : Soudure aluminium

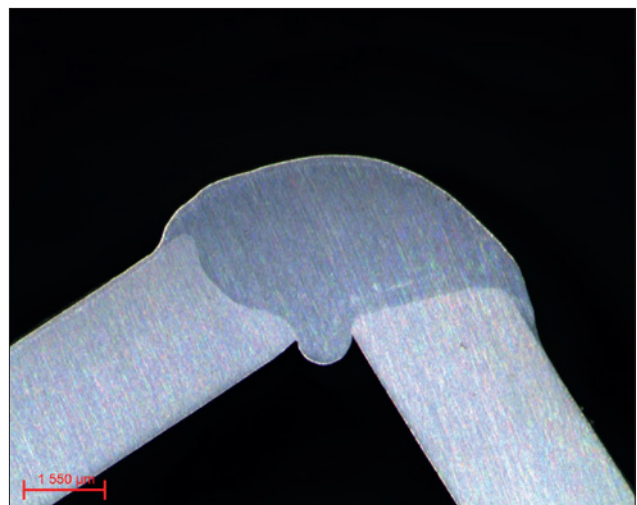


Fig. 23 : Soudure aluminium

Les suspensions diamantées utilisées sont des suspensions Gel 2+, c'est-à-dire que le lubrifiant est déjà présent dans la suspension avec le diamant. Le polissage sur des pièces non enrobées se fait généralement en manuel, donc ces suspensions 2 en 1 facilitent la préparation pour le contrôle de soudure ultérieur.

MICROSTRUCTURE

Les structures de l'aluminium et ses alliages peuvent être révélées à l'aide de différents réactifs tels que le réactif de Keller, de Barker, de solution de soude ou bien encore de solution d'acide fluorhydrique. Les micrographies présentées ont été réalisées au moyen du logiciel **PRESI VIEW** :

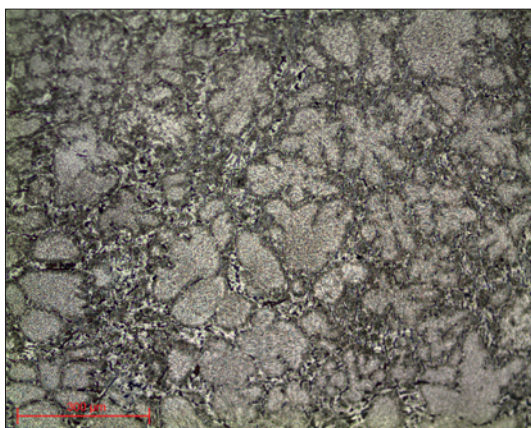


Fig. 24 : Structure objx10

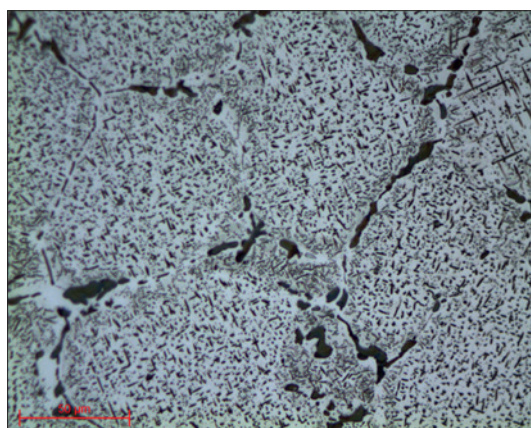


Fig. 25 : Structure objx50

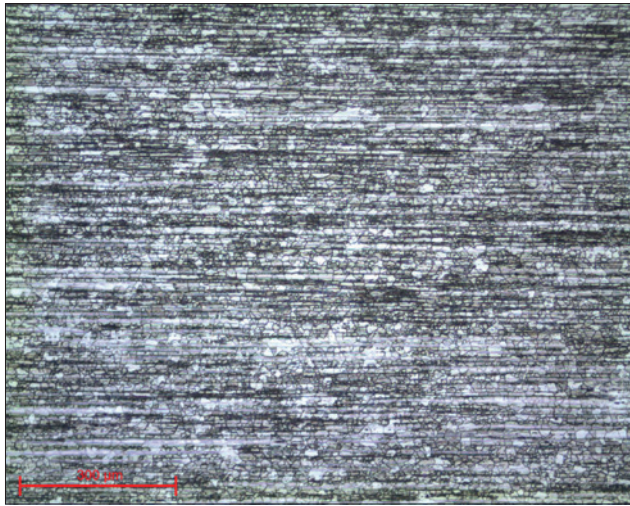


Fig. 26 : Aluminium 2024 CS objx10

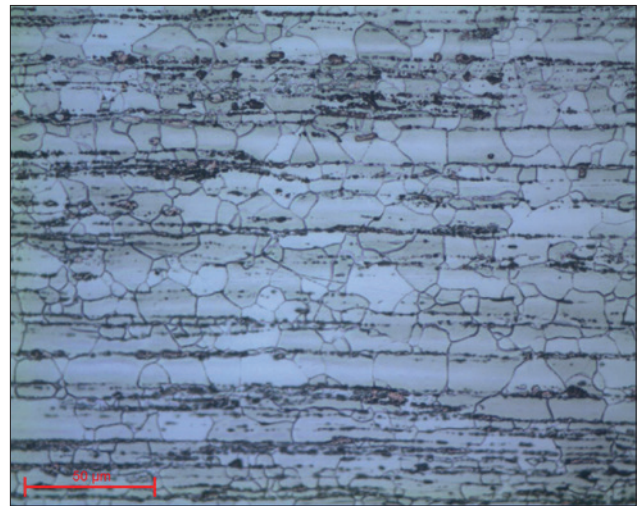


Fig. 27 : Aluminium 2024 CS objx50

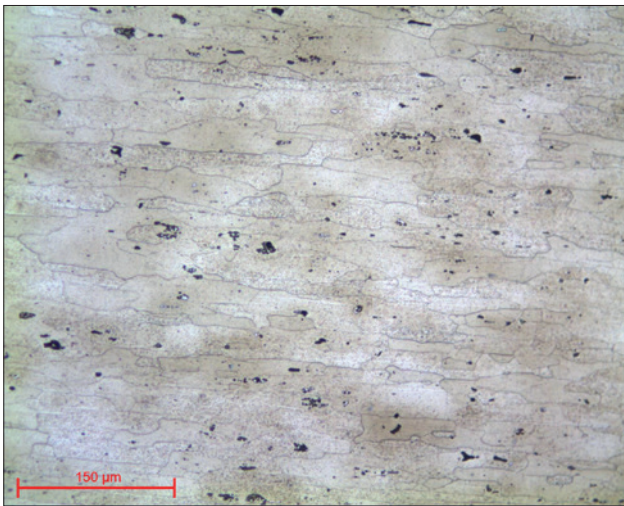


Fig. 28 : Structure Aluminium objx20



Fig. 29 : Structure Aluminium objx20

Sur les figures 24 à 29, ce sont différents alliages d'aluminium dont la structure a été révélée à l'aide du réactif de Keller.