

Chapitre 6

Métaux non ferreux

| | | |
|----------|--|---------|
| 6.1. | Le cuivre | 192 |
| 6.1.1. | Origine | 192 |
| 6.1.2. | Métallurgie du cuivre | 193 |
| 6.1.2.1. | Préparation | 193 |
| 6.1.2.2. | Extraction du cuivre | 194 |
| 6.1.3. | Propriétés | 196 |
| 6.2. | Les alliages Cu Zn (les laitons) | 198 |
| 6.2.1. | Généralités | 198 |
| 6.3. | Les alliages Cu Sn (les bronzes) | 199 |
| 6.3.1. | Généralités | 199 |
| 6.3.2. | Les alliages spéciaux | 199 |
| | Métaux non ferreux divers | 202-203 |
| 6.4. | Aluminium | 204 |
| 6.4.1. | Minerais d'aluminium | 204 |
| 6.4.2. | Métallurgie de l'aluminium | 204 |
| 6.4.2.1. | Préparation de l'alumine | 204 |
| 6.4.2.2. | Fabrication électrolytique de l'aluminium | 206 |
| 6.4.2.3. | L'électrolyte | 206 |
| 6.4.2.4. | Electrolyse de l'aluminium | 206 |
| 6.4.3. | Consommation et rendement | 208 |
| 6.5. | Propriétés de l'aluminium | 210 |
| 6.6. | Classification d'après VSM | 211 |
| 6.7. | Les alliages d'aluminium | 211 |
| 6.8. | Traitements thermiques de l'aluminium et de ses alliages | 211 |
| 6.8.1. | Ecrouissage | 211 |
| 6.8.2. | Recuit | 212 |
| 6.8.3. | Trempe | 212 |
| 6.8.4. | Maturation | 212 |
| 6.8.5. | Revenu | 212 |
| 6.8.6. | Stabilisation | 212 |
| 6.9. | Tableau - Aluminium | 213 |
| 6.10. | Tableau - Alliages d'aluminium pour mi-fabriqués | 214 |
| 6.11. | Tableau - Alliages d'aluminium pour fonderie | 215 |
| 6.12. | Tableau - Alliages de magnésium | 216 |

6

Le cuivre et ses alliages

6. 1. Le cuivre

6. 1. 1. Origine

Le mot cuivre est dérivé de « cuprum » qui signifie: métal de l'île de Chypre, où il fut découvert à l'état natif pendant l'Antiquité.

Actuellement, il est obtenu à partir de minerais, dont les plus répandus sont des minerais sulfurés. Des mines existent en Angleterre, Russie, Egypte, Japon, Etats-Unis, Congo.

Deux de ces minerais sont à mettre au premier plan:

— la **chalcopirite** ($Cu_2S + Fe_2S_3$) dont la teneur en cuivre est de 34,5%

— la **chalcosine** (Cu_2S) contenant environ 80% de cuivre.

Des minerais oxydés et carbonatés sont aussi rencontrés fréquemment:

— la **cuprite** (Cu_2O), oxyde de cuivre

— l'**azurite** ($2 CuCO_3$), carbonate de cuivre

— la **malachite** ($CuCO_3$), carbonate de cuivre.

Une remarque générale est à faire sur l'emplacement des gîtes des minerais de cuivre: c'est la prédominance des minerais oxydés en surface, les minerais sulfurés se trouvant au contraire en profondeur.

6. 1. 2. Métallurgie du cuivre

6. 1. 2. 1. Préparation

C'est par la chaleur que sont généralement traités les minerais de cuivre, mais à côté de la thermométallurgie, il existe un procédé d'extraction électrolytique.

Avant de subir les divers traitements thermiques, les minerais sont soumis à une préparation mécanique qui a pour but de les enrichir par élimination de la gangue, c'est-à-dire de tous les éléments ne contenant pas de métal ou en quantité insuffisante pour valoir un traitement thermique. Parmi ces opérations, citons le **broyage** (1), le **lavage** et le **flottage** (2). Dans cette dernière méthode, le minerai est pulvérisé en présence d'une huile qui n'enrobe que les éléments sulfurés. Le tout est ensuite placé dans l'eau: les éléments sulfurés enrobés d'huile surnagent, alors que la gangue tombe au fond (fig. 6-1).

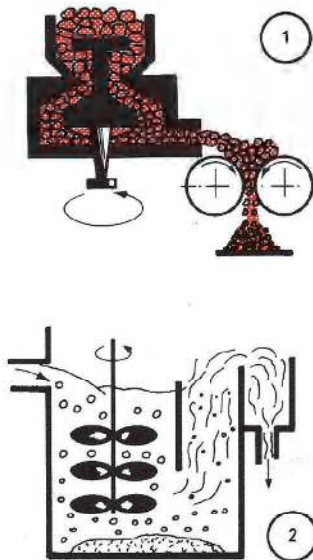


Fig. 6-1

6

6. 1. 2. 2. Extraction du cuivre

Les traitements thermiques successifs pour obtenir du cuivre brut sont les suivants (fig. 6-2):

- grillage du minerai (15 à 25%)
- fusion pour obtenir une matte contenant environ 25 à 45% de cuivre
- affinage au convertisseur, à l'issue duquel apparaît le cuivre brut: *cuivre brute*
- raffinage du cuivre brut

Première opération

Grillage A

Les minerais sulfurés subissent un grillage, qui élimine les éléments volatils et prépare l'élimination du soufre, en le combinant avec le cuivre.

Les minerais oxydés sont traités dans un four spécial appelé « WaterJacket », dans lequel l'oxygène du minerai est réduit. Ce four possède des parois de maçonnerie qui sont revêtues de chemises métalliques avec circulation d'eau, dans le but d'en augmenter la durée de vie.

Par un procédé complexe, le soufre et l'oxygène sont éliminés en formant du gaz sulfureux SO_2 (additionné d'eau, est récupéré pour la fabrication d'acide sulfureux). Le cuivre est donc extrait sous une forme encore impure appelée: matte cuivreuse. L'opération est exothermique.

Cu 40 à 50%

Deuxième opération

Fusion B

Four à réverbère

Matte de cuivre 50-60%

Affinage C

La matte cuivreuse obtenue présente encore une grande quantité d'impuretés. Il est donc nécessaire de procéder à un affinage au moyen d'un convertisseur, qui permet un gain considérable de temps et améliore le rendement. C'est un cylindre d'acier revêtu intérieurement de briques réfractaires (de nature basique) et dont la position peut être modifiée selon les stades de l'opération, de même que l'insufflation de l'air. En inclinant l'appareil, on élimine les scories par simple coulée. L'opération est poursuivie jusqu'à ce que la matte atteigne une pureté de 98 à 99% de cuivre. La température du bain atteint 1200° C.

Troisième opération

Raffinage

1° Raffinage thermique D

Le cuivre brut peut aussi être raffiné comme les aciers dans des fours à atmosphère oxydante. Les métaux plus rares que le cuivre (or, argent, sélénium) subsistent cependant dans le métal, qui peut avoir, si l'affinage a été bien conduit, des propriétés comparables à celles du cuivre électrolytique.

2° Raffinage électrolytique E

Le cuivre brut à 98% au minimum est raffiné par procédé électrolytique (e). Il est coulé en plaques qui constituent les anodes et qui plongent dans un bain de sulfate de cuivre et de sulfate de fer. La cathode est formée par une feuille mince de cuivre pur. Lors du passage d'un courant continu dans le bain, les ions de cuivre Cu^{++}

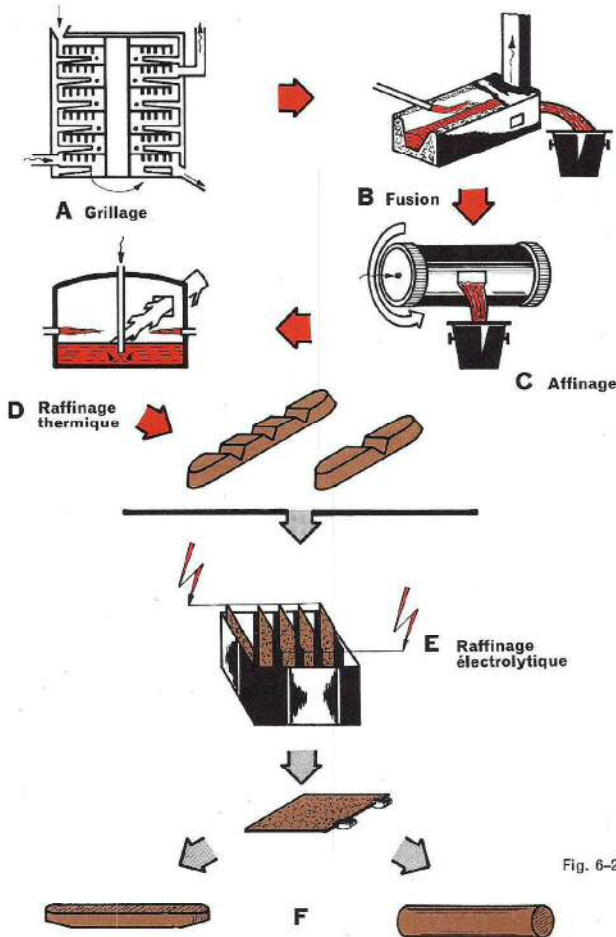


Fig. 6-2

6

se déposent sur la cathode, tandis que les ions SO_4^{--} se combinent avec les métaux des anodes et donnent des sulfates qui régénèrent l'électrolyte. En choisissant une différence de potentiel suffisamment faible entre anodes et cathodes, seuls les cations de cuivre se déposent. On obtient ainsi un filtrage sélectif du cuivre au moyen d'un courant électrique. Sa pureté atteint 99,98%.

Les métaux non attirés par la cathode se retrouvent au fond des bacs sous forme de masses compactes, appelées boues d'anode. En les refondant au four à réverbère on obtient, pour 1000 tonnes de cuivre, 27 tonnes d'argent et 5 kg d'or, selon le type de minerai.

3° **Cuivre OFHC** (exempt d'oxygène et de haute conductibilité)

Ce métal est obtenu par fusion, puis désoxydation des cathodes obtenues par électrolyse, et enfin, coulé sous atmosphère réductrice.

Il peut contenir jusqu'à 99,995% de cuivre et devient alors excellent conducteur du courant électrique et se soude parfaitement au verre.

6. 1. 3. Propriétés

a) physiques

Aspect: métal de belle couleur rose rougeâtre.

Masse volumique: 8,9 kg/dm³.

Point de fusion: 1083° C.

Résistivité électrique: 0,0171 Ωmm²/m (cuivre + 0,04% O₂).

Coefficient de dilatation à 20° C: 16,5 · 10⁻⁶ par °C.

b) chimiques

L'eau pure n'exerce aucune action sur le cuivre, quelle que soit la température. A température ordinaire, l'air humide provoque l'oxydation du cuivre. Il y a formation d'une couche superficielle de vert de gris qui protège le métal d'une attaque en profondeur. Le cuivre est attaqué par tous les acides.

c) mécaniques

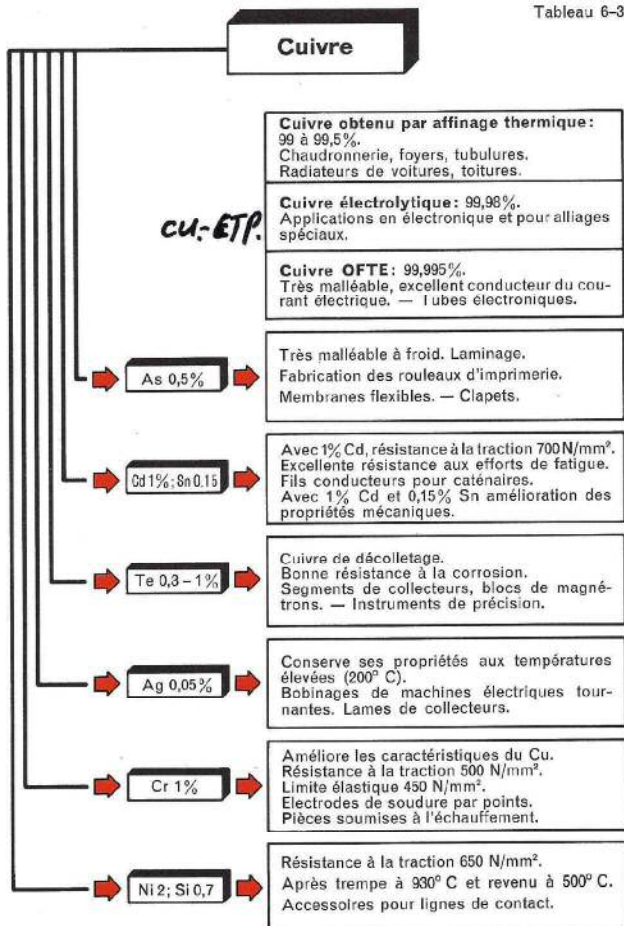
Elles varient beaucoup suivant l'état du métal:

Le cuivre est ductile et malléable à froid, toutefois, ce travail entraîne un écrouissage intense que l'on peut faire disparaître en procédant à un recuit.

*ductile = fils mince
malléable = feuille mince*

| Essais | Etat recuit | Etat écroui | Unités |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------------|
| Résistance à la traction Rm | 220 | 400 | N/mm ² |
| Limite d'élasticité Re | 40 | | N/mm ² |
| Allongement A | 40 | 5 | % |
| Module d'élasticité E | 126 000 | | N/mm ² |
| Dureté Brinell HB | 45-60 | 90-110 | |

Tableau 6-3



6

Alliages de cuivre

6. 2. Alliages Cu Zn (Les laitons)

(VSM 10 822 à 11 858)

6. 2. 1. Généralités

(voir tableau 6-4)

Ces alliages de cuivre et de zinc passent du rouge au jaune suivant la teneur en zinc.

Ces alliages sont obtenus sous deux formes:

1. Alliages coulés

Exemple selon VSM: 10 822 G - Cu Zn 30 signifie: alliage coulé de cuivre-zinc contenant 30% de zinc.

2. Alliages de Cu Zn corroyés

Exemple selon VSM: 10 822, Cu Zn 40 signifie: alliage de cuivre-zinc laminé contenant 40% de zinc.

Ils contiennent en général 55 à 90% de cuivre. L'adjonction de zinc améliore les caractéristiques mécaniques du cuivre:

- a) La résistance à la traction Rm d'un alliage Cu Zn 40 est double de celle du cuivre (environ 550 N/mm²).
- b) L'allongement A est augmenté dans de grandes proportions pour un alliage contenant 28% de zinc.
- c) Un alliage Cu Zn 30 présente une excellente caractéristique d'emboutissage.

6. 3. Alliages Cu Sn (Les bronzes)

(VSM 10 801 à 10 810)

6. 3. 1. Généralités

(voir tableau 6-5)

Ces alliages de cuivre et d'étain ont une couleur qui passe du rouge au jaune en fonction de la teneur en étain.

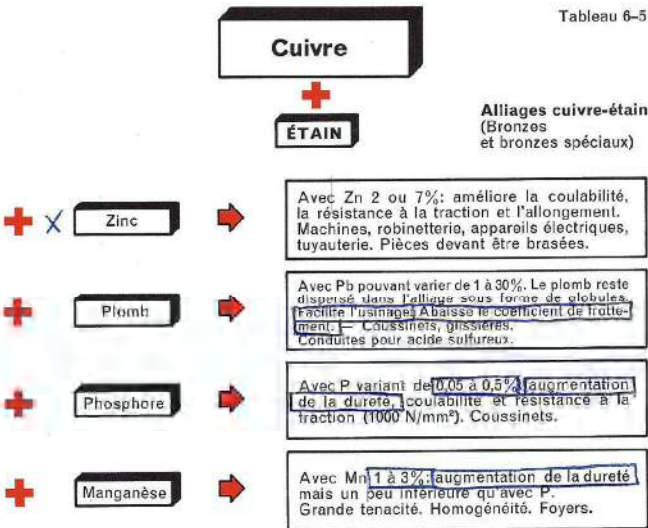
La composition des alliages industriels comprend en général 95% de cuivre et 5% d'étain. La teneur nominale d'étain dépasse rarement 9%. Les alliages de qualité courante contiennent en outre 2 à 3% de zinc. La présence d'étain améliore les caractéristiques mécaniques. Pour un alliage ordinaire, la résistance à la traction R_m vaut environ 400 N/mm², pour un allongement A de 50% à l'état recuit. Après écrouissage, cette résistance peut atteindre 1000 N/mm²; l'allongement correspondant tombant à une valeur de 2% au maximum.

6. 3. 2. Alliages spéciaux

(voir tableau 6-5)

Dans les alliages spéciaux, nous classerons les alliages de cuivre avec les métaux suivants: aluminium, nickel, plomb, béryllium. Ces alliages binaires sont appelés « cupro-aluminium », « cupro-nickel », etc.

Tableau 6-5



Alliages spéciaux

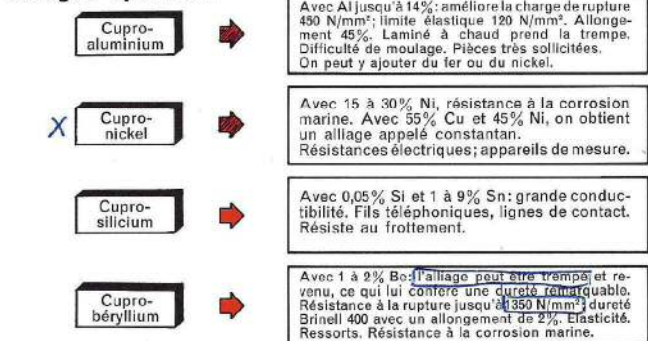
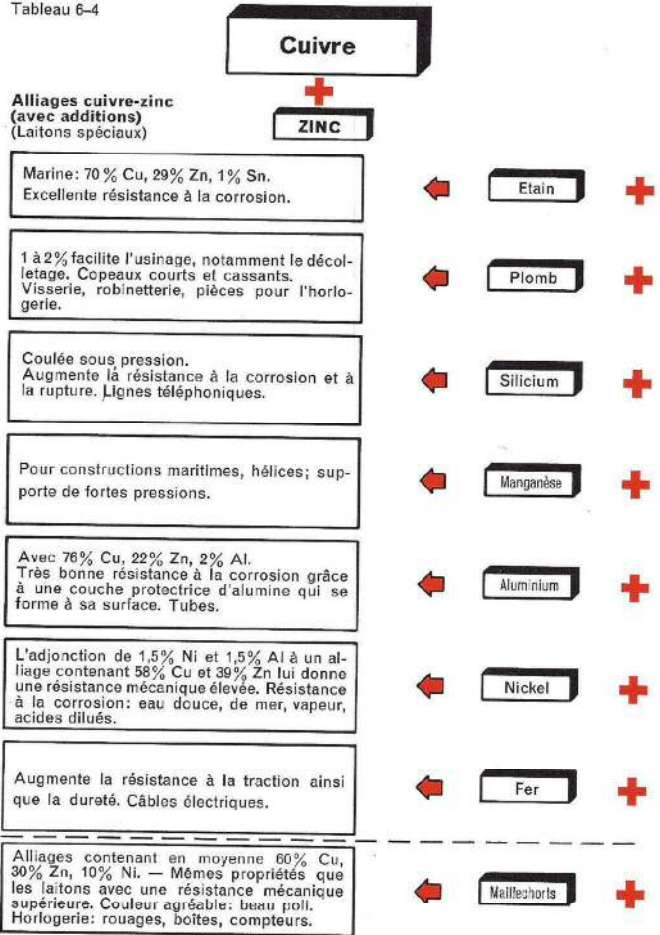


Tableau 6-4



| Métaux non | | | | |
|----------------------------|---------|--------------------------|----------|---|
| Métal | Symbole | M. v. kg/dm ³ | P. f. °C | Caractéristiques |
| Antimoine | Sb | 6,7 | 630 | Minéral sulfure; Stibine Sb ₂ S ₃ à 71,7% de Sb |
| Argent | Ag | 10,5 | 960 | Minéral: argyrose Ag ₂ S. Sulfures mélangés à la galène (argentifère) |
| Bismuth | Bi | 9,8 | 271 | Minéral: Bi ₂ S ₃ et autres, extrait des minerais de Pb, Cu, Sn, à teneur de Bi |
| Cadmium | Cd | 8,64 | 321 | Tiré du sulfure à 77,7% Cd appelé greenokite, ou dans les minerais de zinc (0,2 à 0,4%) |
| Étain | Sn | 7,3 | 232 | Minéral: casitérite SnO ₂ à 78,6% de Sn |
| Magnésium | Mg | 1,74 | 650 | Minéral: combinaisons de: Magnésite MgCO ₃ ; Carnallite MgCl ₂ ·KCl; Dolomite MgCO ₃ ·CaCO ₃ |
| Mercure | Hg | 13,54 | -38,93 | Extrait du cinabre, sulfure de Hg à environ 85% de Hg |
| Or | Au | 19,29 | 1063 | Dans la nature: or natif ou or d'alluvions |
| Platine | Pt | 21,45 | 1773 | Du minéral dit: mine de platine à 76,3 Pt avec Ir, Pa, Rh, Os |
| Plomb | Pb | 11,34 | 327,3 | Minéral: la galène PbS |
| Zinc | Zn | 7,13 | 419,4 | Minéral: la blende de zinc ZnS, la calamine ZnCO ₃ , etc. |
| Béryllium | Be | 1,85 | 1278 | Tiré du béryl brut par flux de fusion d'électrolyse - Coulé ou fritté |
| Antifriction Métaux blancs | | 7,5 à 10,5 | | Alliages d'étain et d'antimoine avec Pb, Cu et Ac, Mg, As en fonction de la charge. Ex. à base d'étain, 77-79 Sn, 12-14 Sb, 8-10% Cu. Ex. à base de plomb, 83,7-87 Pb, 4-5% Sn, 9-12 Sb, 0,3-0,6 Cu |

| Métallurgie | Propriétés | Utilisation |
|---|--|--|
| Liquation et raffinage | Métal bleu-blanc - Abaisse le point de fusion; cassant; se pulvérise | Dans les alliages - Caractères d'imprimerie - Antifrictions |
| Grillage - Étant non oxydable, il passe à l'état métallique - On le dissout avec Hg puis on distille l'amalgame | Métal précieux, blanc, malléable, ductile - A l'air il noircit par formation de Ag ₂ S | Argentierie avec adjonction de 6 à 20% de Cu, on fait des pièces de monnaie - Contacts |
| Méthode de fusion totale avec fondants (Carbonate de sodium ou hématite) - Raffinage | Métal blanc d'argent, cassant - S'usine très mal - Faible conductibilité électrique et calorifique - Diamagnétique | Alliages fusibles sans retrait - Feux d'artifices - Couleur pour porcelaine |
| Pour les sous-produits du Zn, réduction par le charbon et l'oxyde de carbone. Cd est entraîné par les gaz | Diamagnétique - Résiste aux solutions acides diluées et alcalines | Alliages fondant à basses températures - Amalgames - Palliers (95 Cd-5 Ag) pour solutions basiques - Piles - Cadmiage |
| Enrichi par procédé de substitution; extraction des impuretés et réduction de l'étain pur - Affinage par liquation | Métal blanc brillant, tendre, malléable, s'étire - Cassant à 200° C - Résiste à l'air et à l'eau mais pas à H ₂ SO ₄ et aux alcalins | Revêtement d'ustensiles pour l'alimentation - Etamage - Alliages divers - Soudures |
| Métal extrait par électrolyse avec Mg Cl ₂ comme électrolyse - On obtient Mg à 99,8% - Couleur blanc argent | Très sensible aux solutions salines et aux acides - Se couvre d'oxyde de Mg | Pour alliages divers de: forge, laminage, fonderie, de trompe, de recuit - Duralumin - Electron |
| Métal liquide blanc argent - S'évapore à la température ambiante - Les vapeurs de Hg sont toxiques - Consulter les normes pour la manutention | Métal liquide blanc d'argent - S'évapore - Vapeurs toxiques - S'allie facilement (amalgames) - Purifié avec cuir, étouffe, H ₂ SO ₄ | Art dentaire (Ag, Sn, Zn, Au, Pt, Hg) - Douras, miroirs, thermomètres, lampes à vapeur de Hg - Palier de lentilles de Fresnel pour phares marins |
| Obtention: lessivage par du cyanure de sodium - Boues d'anodes lors de l'électrolyse du Cu | Métal mou - Se laisse laminier (0,0001) - Soudable à froid - Résiste aux acides et oxygène - Tenace | En alliage avec Ag, Cu, Ni, Pt et Pd qui durcissent l'or tout en restant tenace - Monnaies - Bijouterie |
| La séparation de ces corps est complexe | Couleur blanche foncée - Se laisse usiner - Peu d'affinité pour l'oxygène - Résiste aux acides | Industrie chimique - Creusets, fils - Traitement de l'H ₂ SO ₄ - Thermocouple (Pt-Pt-Rh 1500°) - Résistances |
| Grillage et réduction du Pb de fonderie - Retrait du Cu par liquation - Raffinage au four à réverbère | Très mou, se laisse usiner, souder et braser - Tenace - Résiste aux acides - Protection contre rayons X et radio-activité | Pur ou allié avec Sb; Sn; Bi - Tuyaux, feuilles, plomberie, moulage, soudure - Caractères d'imprimerie (Pb-Sn-Sb) |
| Transformé par grillage en oxyde de zinc, réduit et distillé on obtient le zinc brut - Raffiné au four à réverbère (99%) et électrique (99,99%) | Métal bleuâtre - Grossueur du grain proportionnelle à la pureté et à la température - Système hexagonal | En feuilles - Galvanisage - Gravure - Zinc brut pour laiton, zinc raffiné pour tombacs - Alliages de moulage et forgeage |
| Epuré par voie chimique puis élaboration par électrolyse à partir du chlorure de Be synthétique | S'allie au Cu (2,5%) avec traitement thermique qui rend l'alliage très dur | Palliers (usure); ressorts inoxydables; pièces de montres non magnétiques - S'allie au Ni, Cr, Co, Fe pour instruments de mesure |
| | Supportent des pressions spécifiques allant de 140 à 380 bars suivant l'alliage. | Coussinets divers |

6

L'aluminium et ses alliages

(voir oxydation, page 294)

6. 4. Aluminium

6. 4. 1. Minerai d'aluminium

Le seul minerai utilisé est la **bauxite** dont le constituant essentiel est l'alumine hydratée (Al₂O₃ · H₂O) d'une teneur de 50 à 70%. Les principales impuretés sont: la silice (SiO₂), l'oxyde de fer (Fe₂O₃) et l'oxyde de titane (TiO₂).

Il existe deux catégories principales de bauxite: les **rouges** à teneur d'oxyde de fer élevée et les **blanches** contenant peu de fer mais beaucoup de silice. **Seules les rouges sont utilisées en raison de leur faible teneur en silice (5%).**

6. 4. 2. Métallurgie de l'aluminium

Elle comporte deux phases distinctes:

a) **traitement chimique du minerai** pour en extraire l'alumine (Al₂O₃) aussi pure que possible;

b) **réduction électrolytique de l'alumine** mise en solution dans un bain de fluorures fondus constitué par de la cryolithe (AlF₃ · 3 NaF) et de fluorure d'aluminium.

6. 4. 2. 1. Préparation de l'alumine (Al₂O₃) (voir figure 6-6)

L'extraction de l'alumine ne se fait pas en Suisse (transport et calories coûteux).

Principe du procédé Bayer

a) **Broyage et séchage de la bauxite** (1, 2)

Concassage, séchage au four (150 à 200° C), broyage fin.

b) **Attaque sous pression par la soude** (3, 4 et 5)

La bauxite est traitée dans un autoclave en acier vers 230° C, sous une pression de 30 bars environ, par de la soude (Na₂O) à raison de 250 g/l.

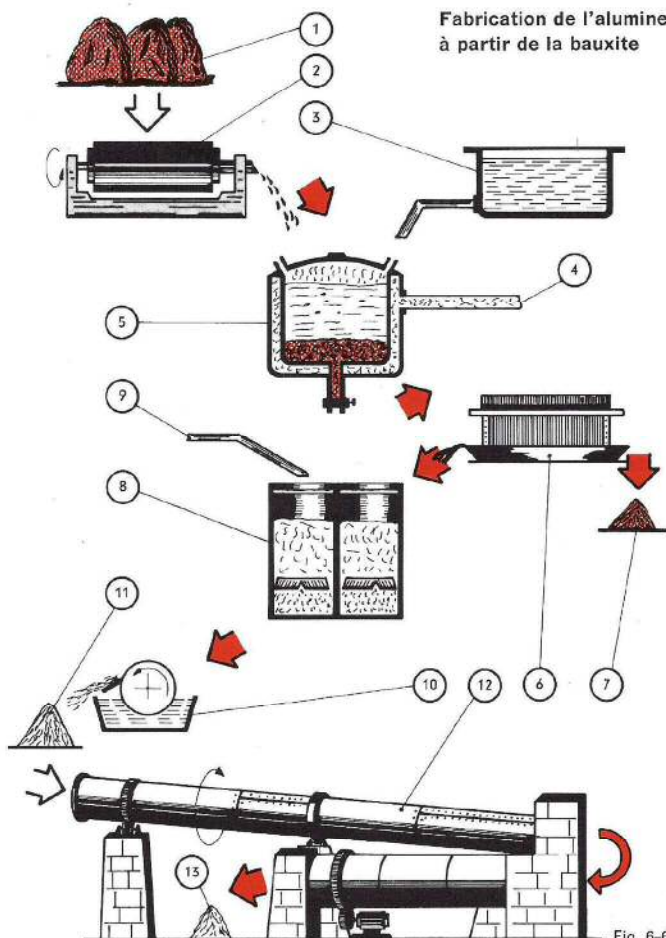
Le chauffage est assuré par une injection de vapeur. Par cette opération, on obtient une solubilisation de l'alumine qui se transforme en aluminat de sodium soluble (6 à 9).

Avec la soude et l'alumine, la silice forme un silicate double (3 Al₂O₃ · 3 Na₂O · 5 SiO₂ · 5 H₂O) **insoluble** qui entraîne une perte en alumine et en soude. Pour cette raison, on utilise des minerais pauvres en silice. Les oxydes de fer et de titane sont pratiquement insolubles. Tout l'insoluble constitue les « boues-rouges ».

Légendes fig. 6-6

1. Bauxite rouge
2. Concassage
3. Solution concentrée de soude caustique
4. Arrivée de vapeur
5. Cuve d'attaque
6. Filtration
7. Boues rouges, silice, impuretés
8. Décomposéur
9. Arrivée d'eau
10. Filtre rotatif
11. Alumine hydratée
12. Calcination à 1200°
13. Alumine calcinée

Fabrication de l'alumine à partir de la bauxite



6

Fig. 6-6

c) **Evaporation, calcination** (10, 11, 12 et 13)

Avant l'opération de calcination, il est nécessaire d'évaporer toute l'eau ajoutée dans les décomposés et au cours des lavages (1 kg. de vapeur pour 4 kg. d'eau).

L'alumine est ensuite calcinée au-dessus de 1150° dans des fours rotatifs inclinés, de 80 m de long, chauffés au mazout.

Son point de fusion est de 2000° C.

6. 4. 2. 2. Fabrication électrolytique de l'aluminium

La fabrication de l'aluminium se fait par électrolyse de l'alumine (2), dissoute dans la **cryolithe** (1) fondue à 1000° C, dans une **cuve en acier garnie de charbon**. L'électrolyse produit de l'aluminium qui se dépose sur le fond de la cuve formant cathode, ainsi que de l'oxygène qui brûle les anodes de carbone pur (5). Le courant continu d'électrolyse est obtenu par des groupes turbine-dynamo ou redresseurs à vapeur de mercure. Actuellement les redresseurs à semi-conducteurs se généralisent (germanium ou silicium).

La figure 6-7 schématise la fabrication de l'aluminium.

6. 4. 2. 3. L'électrolyte

La **cryolithe** (AlF₃ · 3 NaF) est le seul électrolyte utilisé pour la fabrication de l'aluminium. C'est un composé défini stable qui fond à 1000° C.

Remarque: La cryolithe provient du Groenland, seule mine existante. Il est possible de l'obtenir artificiellement.

6. 4. 2. 4. Electrolyse de l'aluminium

L'explication de l'électrolyse n'est pas parfaitement connue. Une théorie simple admet que la cryolithe joue le rôle de dissolvant ionisant.

L'alumine dissoute dans la cryolithe fondue est soumise, à environ 950° C, à l'action d'un courant électrique continu et se trouve ainsi décomposée en aluminium et en oxygène. L'aluminium métallique se dépose sur la cathode et l'oxygène sur l'anode avec combustion de cette dernière. Les gaz libérés sont constitués par du gaz carbonique et de l'oxyde de carbone.

Lorsque la teneur du bain en alumine descend à 1,5%, une lampe s'allume et signale à l'employé de service qu'il doit ajouter de l'alumine. Pour cela, il utilise un marteau piqueur pneuma-

Légende fig. 6-7

1. Cryolithe
2. Alumine
3. Carbone pour électrodes
4. Aluminium liquide
5. Electrodes (anodes)
6. Cuve en tôle d'acier
7. Briques réfractaires
8. Creuset en blocs d'antracite
9. Cathode en fer
10. Bain
11. Couche d'alumine
12. Support d'électrodes réglable
13. Appareil d'extraction
14. Lampe témoin

Fabrication de l'aluminium

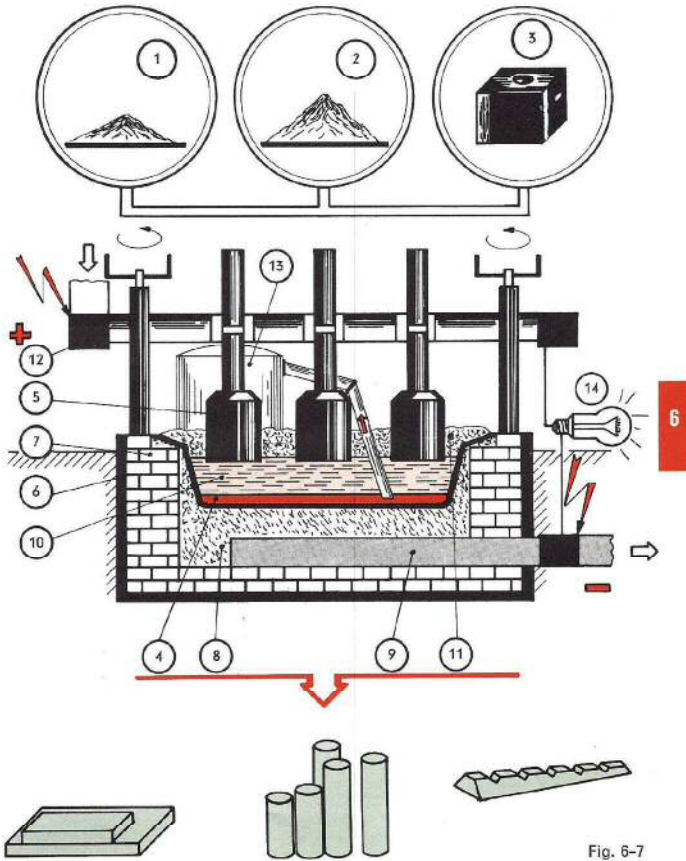


Fig. 6-7

tique qu'il plonge dans la masse d'alumine qui se trouve au-dessus du bain pour la faire dissoudre jusqu'à ce que la lampe s'éteigne. Le bain est recouvert à nouveau d'alumine qui sera prête pour l'opération suivante. Cette nouvelle couche assure en outre le calorifugeage de la cuve (11). L'extraction de l'aluminium dans le creuset cathodique se fait par siphonnage à dépression (13) au moyen d'un siphon en fonte relié à une poche en acier garnie de briques alumineuses. L'épaisseur du bain d'aluminium varie entre 150 et 200 mm. L'extraction se fait tous les un à deux jours.

6. 4. 3. Consommation et rendement

Pour fabriquer 1 kg d'aluminium, il faut (fig. 6-8):

Matières et énergie pour la fabrication d'un kilogramme d'aluminium

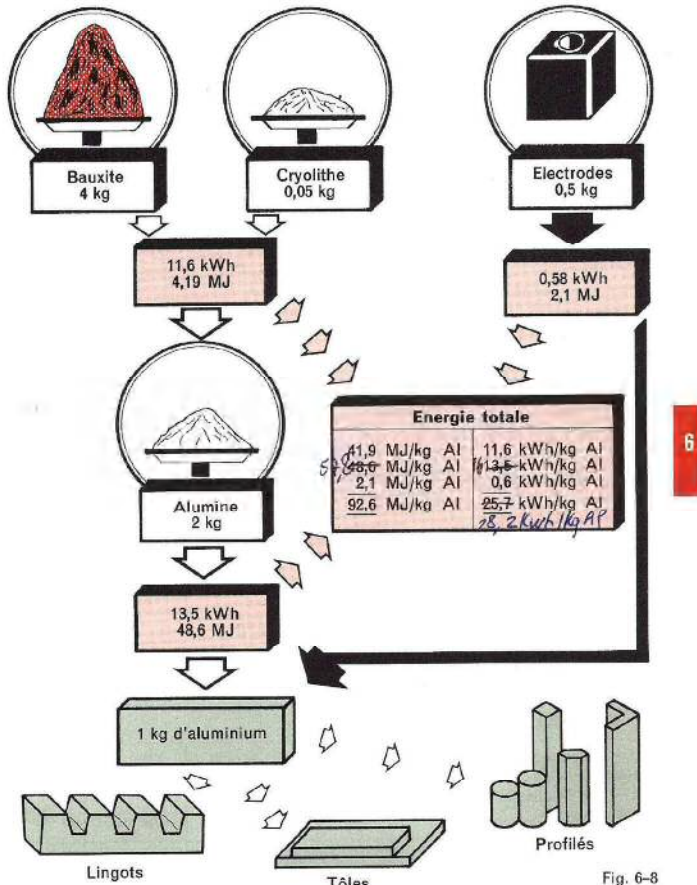


Fig. 6-8

6. 5. Propriétés de l'aluminium

a) Physiques

Aspect: blanc gris.
Masse volumique à 20° C: 2,7 kg/dm³.
Point de fusion: 660° C.
Résistivité à 20° C: 2,630 Ω mm²/m à l'état recuit et 2,80 Ω mm²/m pour l'aluminium commercial à 99,5%.
Coefficient de dilatation entre 22 et 47° C: 23,13 · 10⁻⁶.
Structure cubique à faces centrées.

b) Chimiques

L'aluminium est inaltérable dans l'air, car il est protégé par la couche compacte d'alumine amorphe formée à sa surface. L'eau pure ne l'attaque pas entre 0 et 100° C. L'eau sous pression à 300° C fait croître une couche d'alumine hydratée (Al₂O₃ · H₂O) qui désagrège le métal, surtout si celui-ci est raffiné.
A température élevée, la plupart des

oxydes métalliques sont réduits par l'aluminium.
La préparation des métaux exempts de carbone, tels que le manganèse, le chrome, le ferro-titane se fait par **aluminothermie**. Ce même procédé (réaction du mélange 2 Al + Fe₂O₃) est utilisé pour le soudage des rails (voir chapitre 8).
L'aluminium se combine avec tous les métalloïdes sauf l'hydrogène.
L'acide chlorhydrique est le solvant normal de l'aluminium.
Protégé par sa couche d'alumine, l'aluminium résiste très bien dans les atmosphères urbaines, industrielles ou marines, à condition toutefois qu'il ne soit pas en contact avec un métal lourd (plomb, cuivre et ses alliages, nickel) qui créerait un couple électrolytique qui, dans certaines conditions d'humidité, provoquerait des corrosions.

c) Mécaniques

Elles varient beaucoup avec l'état, la pureté et la température du métal.

| Métal à 20° C | Métal à 99,5%, laminé, recuit | | | | Unités |
|---------------------------------------|-------------------------------|-------------|----------------|------------|-------------------|
| | Recuit 99,997 | Recuit 99,5 | Ecroui 1/2 dur | Ecroui dur | |
| Résistance à la traction Rm | 50 | 80 | 110 | 18 | N/mm ² |
| Limite d'élasticité Re | 20 | 40 | 100 | 15 | N/mm ² |
| Allongement A | 60 | 42 | 14 | 5 | % |
| Module d'élasticité E | 67 000 | | | | N/mm ² |
| Dureté Brinell HB | 14 | 20 | 29 | 47 | |

Tableau montrant la variation des caractéristiques en fonction de la température

| Métal à 99,5%, laminé, recuit | Métal à 99,5%, laminé, recuit | | | | Unités |
|---------------------------------------|-------------------------------|-----|-----|-----|-------------------|
| | 20 | 150 | 250 | 350 | |
| Températures | 20 | 150 | 250 | 350 | °C |
| Résistance à la traction Rm | × 80 | 60 | 30 | 15 | N/mm ² |
| Limite d'élasticité Re | 40 | 30 | 15 | 7 | N/mm ² |
| Allongement A | 42 | 55 | 75 | 85 | % |

L'aluminium est ductile et malléable à froid; toutefois, ce travail entraîne un écrouissage que l'on peut faire disparaître en procédant à un recuit.

6. 6. Classification d'après VSM

Aluminium vierge (cf. VSM 10 842)

C'est l'aluminium de première fusion coulé en lingots dans l'usine de production.

Désignation: **Hü Al 99,5 VSM 10 842.**

Aluminium (cf. VSM 10 842)

C'est l'aluminium de seconde fusion obtenu dans les usines de laminage par refonte de leurs déchets. Le produit est réutilisé dans les usines mêmes.

Désignation: **Al 99,5 VSM 10 842.**

Aluminium extra-pur et ses alliages (cf. VSM 10 843)

C'est l'aluminium fabriqué par raffinage de l'aluminium vierge ou de déchets d'aluminium.

Les alliages d'aluminium extra-pur sont fabriqués à partir d'aluminums extra-purs auxquels on ajoute 0,2 à 2,5 % Mg. Désignation: **R Al - 1,5 dur VSM 10 843.**

Alliages d'aluminium

Les désignations commerciales, traitements thermiques et caractéristiques diverses des alliages de corroyage sont donnés par les normes **VSM 10 846 à 10 859.** (Voir tableau 6-10.)

Les désignations commerciales des alliages d'aluminium de fonderie avec ou sans traitement thermique sont donnés par les normes VSM sous le numéro 10 895. Les alliages sont classés par catégorie, marque du commerce, code, fournisseur et composition des lingots.

Consulter les feuilles individuelles VSM pour chaque alliage, les « Notices techniques Alusuisse », ainsi que le tableau résumé 6-12 en fin de chapitre.

6. 7. Les alliages d'aluminium

La faible résistance Rm 80 N/mm² limite les emplois de l'aluminium pur; la mise au point de divers alliages a considérablement développé ses applications (voir tableau 6-9.) On distingue:

- a) les alliages de laminage sans traitement thermique: Aluman, Peraluman;
- b) les alliages de laminage avec traitement thermique: Anticorodal, Extrudal, Aldrey, Avional, Perunal;
- c) les alliages de fonderie, avec ou sans traitement thermique, coulés en sable ou en coquille tels que: Alufont, Anticorodal, Silafont Peraluman 34 et Unifont. Dans ces alliages, l'élément le plus important est le silicium (0,15 à 13,5%), puis le cuivre (0,03 à 4,9%), le magnésium (0,05 à 3,6%) ainsi que Fe, Mn, Zn, Ti, etc.

6. 8. Traitements thermiques de l'aluminium et de ses alliages
(cf. VSM 10 847)

6. 8. 1. Ecouissage

Les alliages sans traitement thermique ne voient leurs caractéristiques mécaniques modifiées que par l'écrouissage provoqué par une déformation plastique à froid due au laminage, au forgeage, etc. Le réseau cristallin est perturbé, ce qui provoque une augmentation de la charge de rupture et de la limite élastique, au détriment de l'allongement.

6. 8. 2. Recuit

Il a pour but de faire disparaître les effets durcissants de l'écrouissage aux alliages, qu'ils soient avec ou sans traitement thermique. Le recuit se fait aux températures de 280 à 500° C durant une demi-heure à six heures pour les alliages de laminage et aux températures de 510 à 560° C pendant trois à huit heures pour les alliages de fonderie. Vitesse de refroidissement: 20 à 25° C par heure.

6. 8. 3. Trempe

Ce traitement consiste à effectuer un chauffage un peu en dessous de la température eutectique, pour saturer la solution solide des composés, puis à refroidir très brusquement par trempe dans l'eau, l'air ou l'huile. La trempe se fait aux températures de 350° C à 550° C durant une demi-heure à trois heures, pour les alliages de laminage, et aux températures de 510 à 560° C pendant trois à huit heures pour les alliages de fonderie. La vitesse de refroidissement doit être supérieure à la vitesse critique de trempe propre à chaque alliage.

6. 8. 4. Maturation

La maturation a lieu spontanément à la température ambiante. Immédiatement après la trempe le métal est dit à l'état de trempe fraîche. Les caractéristiques mécaniques sont alors voisines de celles de l'état recuit. Par un séjour à la température ambiante le métal, par durcissement structural, retrouvera les propriétés désirées; c'est la maturation, lorsque l'évolution se produit à la température ordinaire. La durée de maturation des alliages de laminage à durcissement structural se

fait entre huit heures et 90 jours suivant l'alliage.

6. 8. 5. Revenu

Le durcissement structural est dénommé **revenu**, lorsque l'évolution est accélérée par un traitement à une température modérée. Ils sont généralement effectués sur les alliages qui ne bénéficient pas de la maturation et à une température plus élevée. Suivant leur durée et la température à laquelle ils sont effectués, les traitements de revenu permettent d'obtenir une certaine gamme de caractéristiques mécaniques dans le cas d'un même alliage (Rm; Rp 0,2 et HB augmentent, mais A diminue). La température de revenu varie entre 140 et 230° C avec une durée allant de quatre à seize heures pour les alliages de fonderie. La vitesse et le mode de refroidissement n'ont pas d'importance.

6. 8. 6. Stabilisation

Elle se fait particulièrement sur des pièces de fonderie travaillant à une certaine température engendrant des variations de dimensions. C'est le cas de l'alliage pour pistons, exposé à des températures capables de provoquer un recuit partiel. Un traitement approprié réalise le plus juste compromis, le piston devant conserver rigoureusement ses cotes aux températures de fonctionnement.

Tableau 6-9

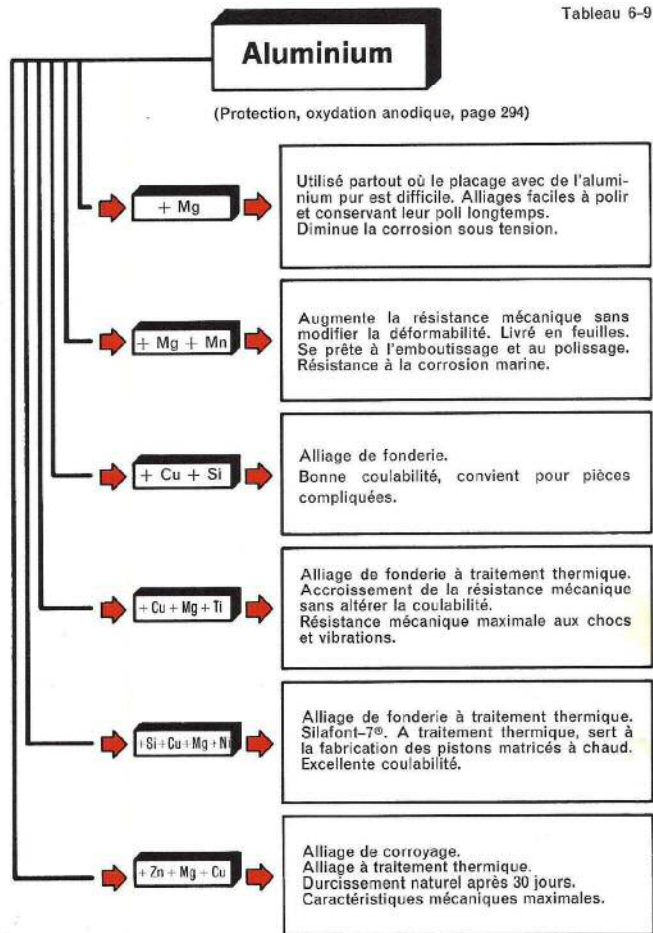


Tableau 6-10

| Alliages d'aluminium pour mi-fabriqués | | | | |
|--|---------------|---------------------------|---|---|
| Type d'alliage | Nom d'alliage | Caractéristiques | Domaines d'application | |
| Sans traitement thermique | Al 99,5% | Aluminium pur 99,5% | Faible résistance mécanique, grande malléabilité Haute résistance chimique Bonne conductivité électrique et thermique | Articles de ménage - Industrie chimique, pharmaceutique et alimentaire Chaudronnerie - Repoussage Emboutissage - Electronique Emballages - Feuilles minces |
| | Al-Mn | Aluman -100 | Résistance mécanique moyenne Haute résistance chimique | Panneautage Constructions soudées Chaudronnerie Toiture (qualité spéciale pour toitures) |
| | Al-1,5 Mg | Peraluman -150 | Résistance mécanique moyenne Bonne malléabilité Haute résistance à la corrosion | Panneautage Chaudronnerie Constructions soudées |
| | Al-3 Mg | Peraluman -300 | Bonne résistance mécanique à l'état recuit également Haute résistance à la corrosion spécialement à l'eau de mer Soudage et pliage faciles | Constructions navales et aéronautiques - Architecture Industries chimiques et alimentaires Matériel roulant Chaudronnerie et appareillage |
| | Al-5 Mg | Peraluman -500 | Haute résistance mécanique à l'état recuit également Haute résistance à la corrosion spécialement à l'eau de mer Dét. à froid et soudures plus difficiles | Constructions soudées fortement sollicitées |
| Avec traitement thermique | Al-Mg-Si | Anticorodal -100 | Alliage à durcissement à chaud Faible résistance mécanique Haute résistance à la corrosion Vaste programme de fabrication | Alliage universel Matériel roulant - Architecture Industrie chimique et alimentaire Chaudronnerie Mécanique de précision Découpage - Pièces forgées |
| | Al-Cu-Mg | Avional 23 -250 -109 -150 | Alliage à durcissement à froid Très haute résistance mécanique à la fatigue également Bonne malléabilité Résistance moyenne à la corrosion | Particulièrement les pièces sont soumises à des sollicitations élevées Aviation - Matériel roulant Construction de machines Pièces forgées |
| | Al-Zn-Mg | Unidur -088 -100 | Alliage à durcissement naturel Après 30 jours, bonne résistance mécanique Bonne résistance à la corrosion Bel aspect après oxydation anodique | Profilés à but décoratif dans l'architecture - Fenêtres Vitres - Mains courantes Articles décolletés à but décoratif |
| | Al-Zn-Mg-Cu | Perunal -213 | Alliage durcissable à chaud Résistance mécanique maximum Résistance moyenne à la corrosion à l'état non plié | Constructions avec sollicitations maxima - Aviation Pièces forgées |
| | Al-Mg-Si | Aldrey -051 | Alliage traité thermiquement avec haute conductivité électrique et haute résistance mécanique | Seulement sous forme de fils et de câbles pour lignes électriques |

Tableau 6-11

| Alliages d'aluminium pour fonderie | | | |
|------------------------------------|-------------------|---|---|
| Type d'alliage | Non d'alliage | Caractéristiques | Domaines d'application |
| G-Al Si 6 Mg Ti | Anticorodal E4 | A traitement thermique - Bonne résistance mécanique - Haute résistance à la corrosion - Bonne coulabilité, également en coquille. Est utilisé à l'état traité. Selon le traitement thermique, on obtient la qualité demi-dure avec un allongement plus grand ou la qualité dure avec une limite élastique et une dureté maxima. | Pour pièces coulées en sable et en coquille - Alliage universel pour les applications exigeant une bonne résistance mécanique et une haute résistance à la corrosion - Matériel roulant, constructions navales, architecture et décoration - Industrie chimique et alimentaire. |
| G-Al Si 13 | Silafont-14 | Sans traitement thermique - Bonne résistance mécanique et grand allongement - Bonne résistance à la corrosion - Très bonne coulabilité. | Pour des pièces compliquées, à parois minces, coulées en sable ou en coquille, devant présenter une bonne élasticité - Constructions navales - Matériel roulant - Industrie chimique et alimentaire - Construction de machines. |
| G-Al Si 11 Mg | Silafont-25 | A traitement thermique - Haute résistance mécanique, faible allongement - Bonne résistance à la corrosion - Très bonne coulabilité. Est utilisé à l'état traité thermiquement. | Pour pièces coulées en sable et en coquille - Mêmes applications que pour le Silafont-1 et -2. Particulièrement apprécié dans la construction des moteurs pour sa haute résistance aux efforts statiques et dynamiques. |
| G-Al Si 9 Mg | Silafont-30 | A traitement thermique - Haute charge à la rupture et haute limite élastique, bon allongement - Bonne résistance à la corrosion - Très bonne coulabilité. Est utilisé à l'état traité thermiquement. | Pour pièces coulées en sable et en coquille - Mêmes applications que pour le Silafont-1 et -2. |
| G-Al Zn 5 Mg Cr | Unitont-54 | A durcissement naturel - Bonne résistance mécanique, résistance moyenne à la corrosion. | Pour pièces coulées en sable - Alliage universel à bonne résistance mécanique - Matériel roulant, constructions navales - Constructions d'appareils et de machines diverses - Pièces oxydées anodiquement pour l'architecture et la décoration (garnitures). |
| G-Al Mg 3 Ti | Peraluman-34 | Sans traitement thermique - Haute résistance à la corrosion, particulièrement à l'eau de mer. Résistance mécanique moyenne. Résilience élevée. | Pour pièces coulées en sable exigeant une haute résistance chimique (eau de mer) - Constructions navales, matériel roulant - Industrie chimique et alimentaire - Pièces oxydées anodiquement pour l'architecture et la décoration. |
| G-Al Si 10 | Silafont-66 | Alliage pour coulée sous pression. Comportement aux sollicitations mécaniques moyen. Très bonne aptitude à la coulée en coquille. | Pour toutes épaisseurs de parois. Pièces devant résister aux intempéries. Bonne usinabilité. Polissage mécanique et oxydation anodique protectrice moyen. |
| G-Al Cu 5 Ti | Alufont-42 | A traitement thermique, haute résistance mécanique et résilience élevée - Est utilisé à l'état traité thermiquement - selon le traitement thermique, on obtient la qualité demi-dure avec un allongement plus grand et une résilience plus grande ou la qualité dure avec une limite élastique et une dureté maximale. | Pour pièces coulées en sable et en coquille - Pièces exigeant une haute résistance mécanique, spécialement aux chocs et à la fatigue. Construction mécanique. Matériel roulant. |

Tableau 6-12

Alliages de magnésium

| ALLIAGES MALLÉABLES VSM 10 891 | |
|---------------------------------|--|
| Mg 3 Al | Soudable à l'arc sous argon, sans traitement thermique. Usinage facile. Barres, profilés, tubes, tôles. |
| Mg 6 Al | Soudable à l'arc sous argon, sans traitement thermique. Grande résistance. Barres, profilés, tubes, pièces forgées et matriçées. |
| Mg 8 Al | Soudable à l'arc sous argon, sans traitement thermique. Haute résistance. Pièces forgées et matriçées. |
| Mg 2 Mn | Soudable sans traitement thermique. Bonne résistance à la corrosion. Tôles, barres et profilés. |
| ALLIAGES DE FONDERIE VSM 10 893 | |
| G Mg-3 Al | Coulé en sable, sans traitement thermique. Pièces compactes pour gaz et liquides. |
| G Mg-6 Al | Coulé en sable, sans traitement thermique. Pièces soumises à des efforts permanents. |
| G Mg-9 Al | Coulé en sable, traité thermiquement. Pièces résistant aux chocs, efforts permanents, températures jusqu'à 200° C. |
| G Mg-9 Al | Coulé en coquille, sans traitement thermique. Pièces de toutes natures. |
| G Mg-9 Al | Alliage injecté, sans traitement thermique. Pièces de toute nature. |

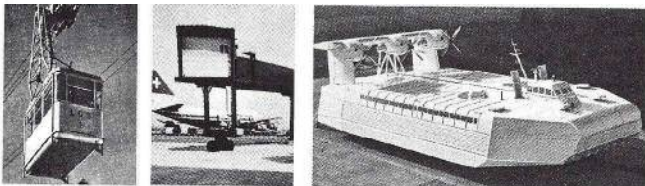
Quelques applications (utilisations) de l'aluminium



Secteur transports

Nouveau type de rame des CFF tout aluminium

Pont de camion



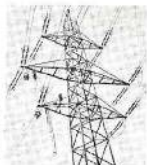
Cabine de téléphérique. Passerelle télescopique à l'aéroport de Zurich en aluminium avec panneaux en Alucobond

Le Naviplane N 500, construit tout en aluminium



Secteur bâtiment

Toutes les façades sont en panneaux d'aluminium anodisé en couleur naturelle



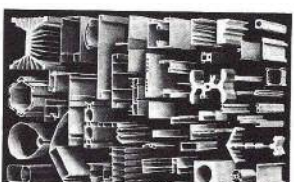
Secteur électricité

Ligne de 380 KV avec cordes en ALDREY



Secteur décoration

« Arbre de Vie », une sculpture en aluminium moulé réalisée par l'artiste suisse Luc Lathion



Profilés

Secteur ménager



Batterie de cuisine



Boîtes à aérosols en aluminium

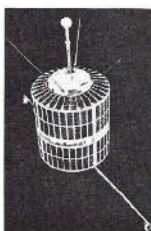
Secteur alimentation



Réceptifs stérilisés légers en aluminium



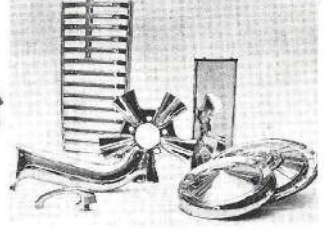
Réceptifs portions en aluminium



Satellite de recherche



Divers
Bloc-moteur 8 cylindres, moulé sous pression en G-A-Si10. Poids, avec les jets, 41 kg.



Accessoires pour automobiles chromés sur base Alstian 70