



Les aciers • Tôles, poutres, fils

Les aciers • Tôles, poutres, fils

- L'acier est un alliage métallique de couleur argentée contenant généralement plus de 98% de fer et du carbone en faibles proportions (généralement entre 0.002 et 0.5%). L'acier peut aussi contenir des petites quantités d'une série d'autres éléments chimiques tels le manganèse, le chrome, le silicium et le niobium. En modifiant légèrement la composition chimique et en contrôlant le cycle thermique pendant le laminage, il est possible de faire varier fortement les propriétés mécaniques de l'alliage.

L'acier tire son nom du latin «Acies» signifiant «pointe». Si le fer est connu depuis l'antiquité, l'acier tel qu'on le connaît n'est apparu qu'à la fin du 19^e siècle (la tour Eiffel construite en 1887, a été réalisée en fer dit «puddlé» et non en acier).

La production mondiale d'acier s'élevait en 2007 à 1344 millions de tonnes (métal le plus produit au monde). Le plus grand producteur est à présent la Chine avec environ 500 millions de tonnes par an. À noter que l'on précise "acier au carbone" lorsque l'on veut marquer la différence avec l'acier inoxydable (fiche 4.06).

- Production

Le minerai de fer est très répandu sur terre. Il s'agit généralement d'oxydes (Fe_2O_3 , Fe_3O_4) assez purs dont la teneur en fer excède souvent 60%. Actuellement, le minerai est principalement extrait au Brésil, en Australie et en Russie. Le fer utilisé pour faire de l'acier provient pour 60% de minerai que l'on réduit à l'aide de charbon dans les hauts-fourneaux. Les 40% restants proviennent du recyclage des ferrailles qui sont refondues principalement dans des fours électriques. L'acier est mis à nuance à l'aciérie avant d'être coulé en continu. Il est ensuite laminé sous forme de tôles, de poutrelles ou de fils. Une usine intégrée produit environ 4 à 6 millions de tonnes d'acier par an.

- Applications

- Bâtiment et travaux publics : structures réalisées à base de poutrelles, ronds à béton, ponts, bardages et toitures, rails de sécurité, câbles pour ponts suspendus, clôtures ...
- Transports : Automobile, matériel ferroviaire, rails, constructions navales, matériel agricole, engins de chantier, steelcord pour le renforcement des pneus.
- Machines, outils, mobilier métallique, quincaillerie, ressorts.
- Électroménagers, baignoires, boîtiers pour hifi.
- Matériel électrique : moteurs, transformateurs.
- Pipelines et canalisations diverses pour pétrole, gaz et eau.
- Énergie : éoliennes, chaudières, boilers, radiateurs.
- Aciers pour emballage : canettes, boîtes de conserve, fûts.

L'acier est donc partout ! Sa consommation constitue d'ailleurs un bon indicateur du développement d'un pays. Faites donc l'expérience, observez votre environnement et vous serez étonnés de redécouvrir que notre vie d'aujourd'hui ne serait simplement pas possible sans l'acier...



Acier en tôles



Acier en poutre



Construction de ponts



Construction d'éoliennes



Construction d'engins lourds



L'acier est recyclable



La matière avant transformation



Hematite

La matière appliquée



Construction automobile

Avantages de l'acier

- Propriétés mécaniques remarquables.
- Caractéristiques ajustables en fonction de l'application: par exemple, la limite élastique peut varier d'un facteur 20 entre l'acier pour emboutissage profond (canettes) et le fil «steelcord» de la carcasse radiale des pneus. Avec un tel fil, s'il avait un diamètre de 2 mm, on pourrait soulever une masse de 1 tonne !
- Matériau magnétique.
- Complètement recyclable sans perte de qualité.
- Réserves minières quasiment inépuisables.
- Prix assez bas.

Désavantages de l'acier

- **Corrosion** : l'acier nu rouille, mais des solutions sont à présent disponibles comme les revêtements organiques (peinture) ou métalliques (galvanisation). La plupart des voitures sont ainsi garanties 12 ans. contre la corrosion. Pour les applications les plus délicates on choisira l'acier inoxydable.
- Densité élevée, mais ce «problème» est le plus souvent compensé par le niveau élevé des propriétés mécaniques qui permet d'utiliser des épaisseurs plus fines.

Propriétés d'usage

- **Découpage** : cisailage, estampage, oxycoupage, sciage mécanique, découpe laser, sciage à eau.
- **Assemblage** : soudage par points, soudage à l'arc, soudage laser, brasage, collage, agrafage, vissage, rivetage.
- **Mise en forme** : emboutissage, profilage, pliage, cintrage.

Propriétés

- **Densité** : 7.85 g/cm³
- **Point de fusion** : 1500°C
- **Module de Young** : ~200 GPa
- **Conductivité thermique** : 90W.m⁻¹.K⁻¹
- **Limite élastique** : 100 à 4000 MPa

Référence de fiche



- Couleur de la famille, ici les métaux
- N° de la famille, ici les métaux
- N° de fiche, ici l'Acier
- ← Sens de lecture de la référence



Le Cuivre • Tôles, tréfilés, fils

- Le cuivre est un métal rougeâtre caractérisé par son excellente conductivité électrique et qui est donc surtout utilisé pour les câbles électriques. C'est un métal ductile et résistant à la corrosion, employé également en plomberie (tuyaux pour le gaz et l'eau) et en construction. Il tire son nom du latin Cuprum, lui-même dérivé de Cyprum, le nom latin de l'île de Chypre d'où il était extrait à l'époque. La production mondiale de cuivre s'élevait en 2004 à 14.6 millions de tonnes (3e métal le plus produit après le fer et l'aluminium). Les principaux pays producteurs de minerai sont le Chili et les Etats-Unis.

La production

Le cuivre métallique existe à l'état natif. Cependant, il est essentiellement présent dans la nature sous forme de composés et en particulier de sulfures comme la chalcopryrite (CuFeS_2) et la chalcocite (Cu_2S). Les minerais sont assez pauvres puisqu'ils contiennent généralement moins de 1% de cuivre. Après évacuation physique de la gangue on obtient un minerai enrichi à 25% environ. Ensuite, des traitements thermiques dans l'air permettent d'obtenir du cuivre métallique par réduction des sulfures. La pureté de ce cuivre est de 99% environ. Un raffinage supplémentaire par voie électrolytique permet d'atteindre des puretés de 99.99%. Les impuretés telles que l'or, l'argent et le platine qui sont insolubles dans l'électrolyte, sont bien évidemment récupérées.

Après raffinage électrolytique, les blocs de cuivre peuvent être laminés sous forme de tôles ou tréfilés sous forme de fils. Le cuivre est vendu à l'état écroui (dur) ou à l'état recuit (malléable).

Le recyclage

Le cuivre pur se recycle très facilement : il peut être refondu ou dissous dans un acide pour être à nouveau électrolysé. En particulier, les « circuits imprimés » présents dans tous les appareils électroniques sont fabriqués à partir de déchets de cuivre dissous, puis redéposés par électrolyse. On obtient ainsi des « foils » qui sont en fait des films très minces de cuivre dont l'épaisseur minimale est de 0.01 mm. L'échantillon fourni dans le kit a été produit par cette technique et a une épaisseur de 0.11 mm.

Exemples d'applications



Bobine de fil de cuivre



Tuyau de chauffage



Ustensiles de cuisine



Bracelets



Pièces de chauffage et distribution d'eau



Câble

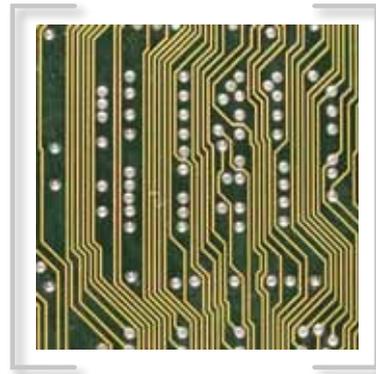


La matière avant transformation



Pépite de cuivre

La matière appliquée



Circuit électronique

Alliages

Il existe de nombreux alliages contenant du cuivre. Parmi ceux-ci, citons le laiton (alliage cuivre-zinc) et le bronze (alliage cuivre-étain). Ces alliages sont plus durs que le cuivre pur. Le laiton est beaucoup utilisé pour les instruments de musique et pour l'usinage de pièces de plomberie tandis que le bronze qui fût jadis très important (souvenez-vous de l'âge du bronze) est aujourd'hui essentiellement utilisé en sculpture.

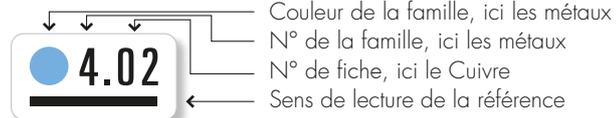
Applications

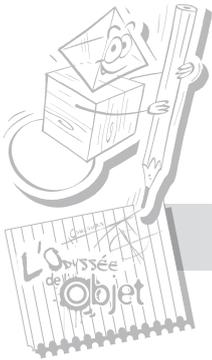
- Fils et câbles en cuivre pour le transport du courant électrique.
- **Machines électriques** : moteurs, transformateurs.
- Circuits imprimés, circuits intégrés.
- Radiateurs pour évacuer la chaleur des microprocesseurs.
- Échangeurs de chaleur.
- Tuyaux d'eau et de gaz.
- Toitures (qui ont tendance à se couvrir une patine verdâtre composée de carbonate de cuivre).
- Gouttières.
- Statues, sculptures (Statue de la Liberté p. ex.).
- Pièces de monnaie (1, 2 et 5 cent).
- **En cuisine** : casseroles et poêles.
- En quincaillerie : charnières, clinches de portes, ...
- En sanitaire dans certains pays : éviers, baignoires, ...

Propriétés

- **N° atomique** : 29
- **Valences** : Cu^+ , Cu^{2+}
- **Densité** : 8.96 g/cm^3
- **Point de fusion** : 1084°C
- **Module de Young** : $\sim 120 \text{ GPa}$
- **Résistivité** : (20°C) $16.78 \text{ n}\Omega\cdot\text{m}$
- **Conductivité thermique** : $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- **Limite élastique** : 50 - 80 MPa (recuit) – 300-400 MPa (écroui).
- **Défaut** : faible résistance au fluage => il faut resserrer régulièrement les vis qui maintiennent les fils en cuivre (dans les disjoncteurs par exemple) afin d'éviter les mauvais contacts qui donnent lieu à des échauffements importants.

Référence de fiche





L'acier émaillé

Fiche N° 4.03

4.03

Étiquette de fiche

Acier émaillé

- L'émail est un revêtement coloré obtenu par la fusion d'une poudre de verre sur un substrat tel que la céramique, le verre et de nombreux métaux.

La composition de la poudre est choisie en fonction de la teinte désirée et du type de substrat qui définit la température de cuisson (généralement supérieure à 500°C). La poudre fond et s'étale sur le support pour former après refroidissement une couche lisse, dure et très résistante aux assauts du temps.

L'émaillage est une très vieille technique déjà connue du temps des égyptiens. Les applications sur métaux (cuivre notamment) remontent aux anciens grecs. Depuis le Moyen-Âge, de très nombreux objets d'art, bijoux et bibelots ont été produits. Plus près de nous, les artistes de l'Art Nouveau ont également beaucoup utilisé l'émaillage. Les premiers ustensiles en fonte émaillée datent du 18ème siècle et apparaissent en Allemagne.

Aujourd'hui, l'acier émaillé est un matériau produit industriellement à grande échelle. Ses caractéristiques résultent de la combinaison favorable des propriétés des deux matériaux qui le constituent, l'acier et l'émail. L'acier apporte sa résistance mécanique et ses qualités de mise en forme, alors que l'émail apporte l'inaltérabilité et donne tout son éclat à la surface de la pièce.

- La production

La composition chimique de l'émail doit être optimisée en fonction du support et de la couleur désirée. Dans le cas de l'acier, le matériau de base est un verre à bas point de fusion composé de silice (SiO_2) et autres oxydes de bore, de sodium, de potassium. Le verre est tout d'abord fondu pour rendre le mélange bien homogène, avant d'être solidifié et concassé. Suivant les applications, on ajoute de nombreux autres composés comme les oxydes de nickel, cobalt, titane, cuivre, calcium...

Le mélange est réduit en poudre avant d'être appliqué sur les pièces en acier et le tout est cuit au four à une température de l'ordre de 800 à 850°C pendant quelques minutes. Le plus souvent on applique d'abord une première couche d'accrochage qui va fortement réagir avec le métal si bien que le verre et l'acier vont s'interpénétrer. Les couches suivantes permettront d'ajuster la teinte et les propriétés finales du produit. En général, seule la première couche de couleur foncée est appliquée sur les deux faces. Sur la face visible, l'épaisseur totale du revêtement est de 100 à 200 μm .

- Exemples d'applications



Baignoire



Boilers



Cuisinière



Bardage pour bâtiments



Silos



La matière avant transformation



Poudre d'émail

La matière appliquée



Portes d'ascenseurs

Avantages de l'acier émaillé

- Résistance à l'abrasion et aux griffes.
- Résistance aux produits chimiques (acides, détergents).
- Résistance au vieillissement (couleurs inaltérables).
- Résistance aux hautes températures (jusqu'à 500°C) et au feu.
- Supporte les chocs thermiques.
- Esthétique (large gamme de coloris, de textures, sérigraphie, anti-graffiti).

Désavantages

- Hygiène (facile à nettoyer, anti-bactérien, sans odeur).
- Parfait isolant électrique.
- Difficile à assembler (pas soudable).
- Peu déformable après émaillage.
- Résistance aux chocs.

Applications

Dans la maison :

- Appareils ménagers : fours, cuisinières, casseroles.
- Baignoires, douches.
- Cuves de chauffe-eau.

Dans l'industrie :

- Cuves de silo, citernes.
- Réacteurs chimiques.
- Réservoirs de stations d'épuration.
- Échangeurs thermiques.
- Tuyaux de cheminée.

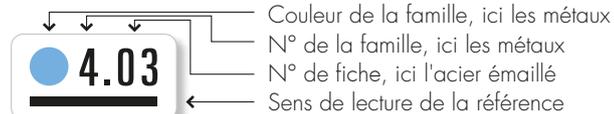
Construction :

- Habillage de façades de bâtiment.
- Décoration intérieure.
- Habillage des tunnels.

Autres :

- Plaques de rue, de métro.
- Enseignes publicitaires.
- Tableaux blancs et écrans de projection.
- Décors polychromes, fresques.

Référence de fiche





L'aluminium • Plaques, profilés ...

- L'aluminium est un métal de couleur argentée caractérisé par sa faible densité. Ce matériau est également ductile et résistant à la corrosion grâce à une mince couche d'oxydation de 5 à 10 nm (1 nm = 0.000001 mm) qui se forme rapidement quand on l'expose à l'air et qui empêche la corrosion de progresser.

Sans cette couche d'oxyde protectrice, l'aluminium serait impropre à la plupart de ses applications. Il est possible d'augmenter artificiellement l'épaisseur de cette couche d'oxydation par anodisation, ce qui permet d'augmenter la protection et de décorer les pièces en colorant la couche d'oxyde.

La production mondiale d'aluminium s'élevait en 2006 à 45 millions de tonnes, ce qui en fait le premier matériau non ferreux.

- Production et recyclage

L'aluminium est extrêmement oxydable et n'existe donc pas à l'état métallique dans la nature. Il est essentiellement extrait de la bauxite, un minerai contenant essentiellement de l'hydroxyde $Al(OH)_3$ et de l'oxy-hydroxyde $AlO(OH)$ d'aluminium ainsi que des oxydes de fer (jusqu'à 20%) et de silicium (moins de 8%). Les plus gros producteurs de bauxite sont l'Australie, la Chine et le Brésil.

La bauxite est traitée pour en extraire l'aluminium, dans un premier temps sous forme de l'alumine (Al_2O_3). Après broyage et traitement à la soude $NaOH$, on obtient une liqueur dont on extrait les impuretés solides avant de la précipiter sous forme d' $Al(OH)_3$. Par calcination de l'hydroxyde à $1050^\circ C$, on obtient l'alumine Al_2O_3 . L'aluminium est extrait par électrolyse à haute température: l'alumine est introduite dans des cuves d'électrolyse avec des additifs comme la cryolithe (Na_3AlF_6) afin d'abaisser le point de fusion de $2\ 040^\circ C$ à $960^\circ C$. Le courant électrique circule dans l'électrolyte entre les électrodes en carbone et l'aluminium métallique liquide est récupéré à la cathode.

La production d'une tonne d'aluminium nécessite de 4 à 5 tonnes de bauxite et 13 000 à 17 000 kWh. C'est donc un procédé très énergétique qui s'accompagne de la production de différents gaz tels le CO_2 , CO , des fluorures gazeux et des hydrocarbures dont certains peuvent être recyclés sur place.

Suite au verso ->

- Exemples d'applications



Châssis de fenêtre



Profilés



A380 - © AIRBUS S.A.S. 2007 - photo by e'm company/H. Goussé



Construction navale



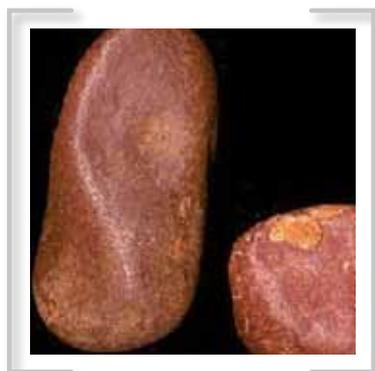
Bouteille



L'aluminium primaire est généralement allié à un autre métal tel le cuivre, le magnésium, le silicium ou le manganèse suivant le type de propriétés recherchées. Il y a donc différentes familles d'aluminium. Les teneurs en éléments d'alliage sont de l'ordre de 1 à 8 %. Suivant les qualités, l'aluminium peut être moulé, laminé, tréfilé ou extrudé.

L'aluminium pur se recycle très facilement : il peut être refondu à condition qu'il ne soit pas trop fin (ainsi le papier «alu» utilisé en cuisine ne peut pas être refondu car il s'oxyde trop rapidement). Par ailleurs, il est également nécessaire d'identifier et de séparer les différentes familles d'aluminium avant refusion, ce qui complique le recyclage. Cependant, le recyclage de l'aluminium permet de réaliser d'importantes économies d'énergie.

La matière avant transformation



Minerai de bauxite

La matière appliquée



Cadre de vélo

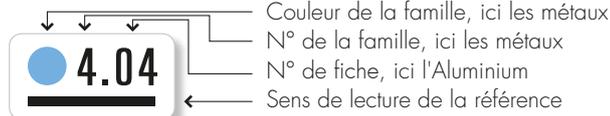
Applications

- **Transport** : éléments de carrosserie jantes, moteurs, avions, bateaux, wagons, navette spatiale.
- **Emballage** : canettes, foil (papier alu).
- **Construction** : châssis de fenêtre, vérandas, profils, bardages, échelles.
- Ustensiles de cuisine, électroménager.
- **Loisirs** : caravanes, matériel de camping, raquettes, vélos.
- **Électricité - électronique** : câbles, circuits intégrés, radiateurs de chaleur.
- **Revêtements** : protection de l'acier, traitements de films en matière plastique, CD...

Propriétés

- **N° atomique** : 13
- **Valences** : Al^{3+} , Al^{2+}
- **Densité** : 2.7 g/cm³
- **Point de fusion** : 660°C pour le métal pur
- **Module de Young** : ~70 GPa
- **Résistivité** : (20°C) 3-6 nΩ.m
- **Conductivité thermique** : 240 W.m⁻¹.K⁻¹
- **Limite élastique** : 100-400 MPa (suivant les alliages – 20 MPa pour le métal pur).

Référence de fiche





Panneau Sandwich • Peau/cœur/peau

- Le panneau sandwich est un matériau composite composé de deux tôles métalliques minces entre lesquelles est insérée une couche d'un matériau généralement polymère.

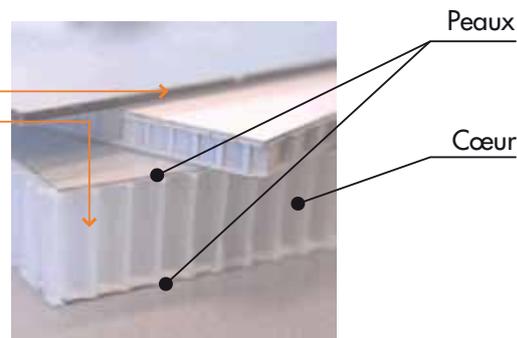
Ces structures présentent deux avantages importants: une rigidité nettement plus élevée par rapport à celle d'une tôle monolithique d'un poids équivalent et des propriétés acoustiques remarquables. Comme il est possible d'associer de nombreux types de «peaux» et de «cœurs», une large gamme de produits est disponible.

- Gamme de produits

Tôles utilisées pour les peaux : aluminium, acier au carbone, acier inoxydable. Ces tôles, qui ont le plus souvent une épaisseur inférieure à 0.5mm, peuvent également être revêtues (revêtement métallique et/ou organique). À noter que les deux tôles peuvent être de nature différente.

Matériaux utilisés pour le cœur :

- résine viscoélastique 25 à 50 μm
- polymère thermoplastique 1 à 2 mm
- structure polymère creuse en nid d'abeille 8 à 25 mm



- Exemples d'applications

- **Bâtiment :** éléments de façade, tuiles, escaliers, portes coulissantes, portes de garage, panneaux pour sols, éléments pour faux-plafond.
- Isolation acoustique des électroménagers, des moteurs, des machines agricoles, des engins de génie civil.
- Tuyaux de ventilation, éléments pour conditionnement d'air.
- **Bureau :** tableaux, mobilier : tables, étagères.
- **Transport :** aménagement intérieur des bus, wagons, navires : cloisons latérales, éléments de sol et de toiture.



Panneaux latéraux sandwich



Panneau sandwich avec insert pour charnière



Conduit «silencieux» pour air conditionné

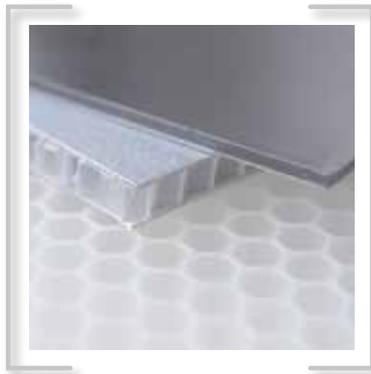


Exemples d'applications (suite)



Table : panneau avec âme en nid d'abeille

La matière avant utilisation



Panneaux

La matière appliquée

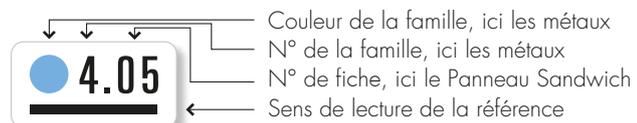


Plaques rigides pour cloisons

Propriétés (variables en fonction des combinaisons)

- **Légèreté** : le poids peut descendre jusqu'à 2 kg/m²
- Rigidité fortement améliorée (donc formabilité limitée).
- Résistance aux impacts (anti-vandalisme).
- Planéité.
- Isolation thermique et surtout acoustique (amortissement des vibrations).
- Résistance à la chaleur assez faible.
- **Esthétique** : large choix de peaux.
- Recyclabilité.

Référence de fiche





INOX • Acier inoxydable

- L'acier inoxydable, «découvert» entre 1900 et 1915, est donc un acier qui ne rouille pas. Cette propriété est due à la présence d'un film de surface «passif» qui confère à l'acier sa résistance à la corrosion. Ce film, essentiellement composé d'oxyde de chrome est le produit de la réaction entre l'oxygène de l'air et le chrome contenu dans l'acier. Le chrome (Cr) est donc l'élément d'alliage le plus important dans la production d'aciers inoxydables.

Un minimum de 10,5% de teneur en chrome (en poids) est nécessaire pour fiabiliser la formation de la couche superficielle d'oxyde de chrome de protection et d'auto-réparation. Plus la teneur en chrome est importante, plus la couche passive résiste.

Si la surface de l'acier inoxydable est travaillée mécaniquement ou endommagée par accident, la couche passive se reforme automatiquement en présence d'air ou d'eau. À noter que la résistance à la corrosion peut encore être améliorée par l'apport de 2 à 3% de molybdène. D'autres éléments chimiques comme le titane, le niobium et l'azote peuvent également être ajoutés en fonction de l'application.

- Principales familles

Austénitique : alliage de base fer - chrome - nickel - carbone (< 0,1 %). Les principales nuances austénitiques n° 301 et 304 sont mieux connues en cuisine sous leurs appellations respectives 18/8 et 18/10. Ces nombres correspondent en fait aux teneurs en Cr/Ni (%) que ces aciers contiennent. Ces aciers sont non magnétiques. Ils représentent plus de 60% de l'utilisation d'acier inoxydable. L'apport de nickel améliore notablement les propriétés mécaniques mais augmente fortement le prix des aciers austénitiques.

Ferritique : alliage de base fer - chrome - carbone (< 0,1 %). La nuance principale n° 430 comprend 17% de chrome. Il s'agit ici d'un acier magnétique qui résiste très bien à la corrosion. Cet acier est moins cher grâce à l'absence de nickel et ses propriétés mécaniques sont comparables à certaines nuances d'aciers ordinaires (non inox).

- Fabrication

L'acier inoxydable est obtenu par fusion des différents métaux qui le composent dans un four électrique à 1500°C. On peut également très aisément refondre des ferrailles d'acier inox, ce qui en fait un matériau complètement recyclable. Les blocs coulés sont ensuite laminés sous forme de tôles, de poutres ou de fils.

Des traitements thermiques à haute température (>1000°C) doivent être appliqués pour obtenir des propriétés mécaniques optimales et un aspect de surface impeccable. De nombreux finis de surface sont proposés : mat, brillant, satiné, poli, brossé, suivant l'aspect esthétique souhaité par le client.

- Exemples d'applications



Le toit de ce bâtiment (OCAS-Zelzate) est en acier inoxydable (Architecte Samyn & Partners)



Porte d'ascenseur



Banc public



Jeu de casseroles



La matière avant transformation



Les tôles sont livrées "plano" (à plat)

La matière appliquée



Cuisinière entièrement réalisée en INOX

Mise en œuvre

Toutes les techniques de mise en forme telles que **le pliage, le profilage et l'emboutissage** peuvent être utilisées. De nombreuses techniques d'assemblage sont applicables à l'acier inoxydable: soudage, brasage, assemblage mécanique, collage. Avec l'acier inox, il est assez aisé d'obtenir des finitions impeccables pour les assemblages (soudures invisibles par exemple).

Applications

- **Automobile** : systèmes d'échappement, éléments décoratifs.
- **Bâtiment** : revêtements de façades, toitures, ascenseurs, escalators.
- **Travaux publics** : charpentes de pont, parois intérieures de tunnels, mobilier urbain.
- **Cuisine** : casseroles (inox ferritique pour chauffage par induction), électroménager, couverts, éviers.
- **Mobilier** : décoration, luminaires, stylos, gadgets divers.
- **Industrie** : chaudières, échangeurs de chaleur, brûleurs, réservoirs.
- **Transport** : tramways, wagons, ossature d'autobus, containers.

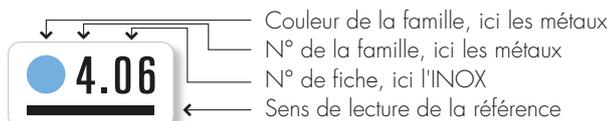
Principales caractéristiques

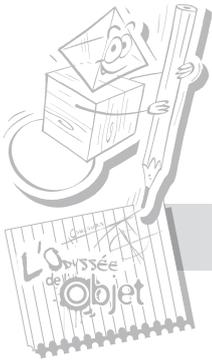
- Résistance remarquable à la corrosion et à l'oxydation à haute température.
- Attrait esthétique.
- Durabilité.
- Recyclabilité totale.
- **Neutralité biologique** : apte pour contact alimentaire.
- Facile à nettoyer.
- Bon rapport résistance mécanique/poids.
- Emboutissabilité (surtout les austénitiques).
- Conductivité thermique plus faible que celle des aciers classiques.
- Coefficient de dilatation linéaire élevé.

Propriétés

Type d'acier	inox ferritique 430	inox austénitique 304	acier au carbone pour emboutissage DC06
Densité (g/cm ³)	7.7	7.9	7.7
Résistance électrique (10 ⁻⁶ Ω m)	0.6	0.72	0.22
Chaleur spécifique (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	460	500	460
Conductivité thermique (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	26	15	90
Coefficient de dilatation thermique (10 ⁻⁶ K ⁻¹)	10.5	16	12
Module de Young (GPa)	220	200	215
Limite élastique (MPa)	350	280	120
Résistance mécanique (MPa)	530	650	280
Allongement sous traction (%)	26	50	40

Référence de fiche



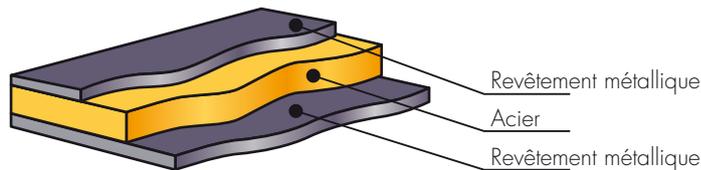


Aciers revêtus • Électrozingage & l'immersion

- L'acier à l'état nu a le désavantage de rouiller facilement dès qu'il est en présence d'humidité. Il est donc impératif de le protéger en recouvrant la surface de l'acier d'une ou de plusieurs couches de revêtement. Dans cette fiche, nous décrivons les revêtements métalliques qui sont composés essentiellement de zinc, d'aluminium et de leurs alliages.

Le processus (appelé galvanisation dans le cas du zinc) consiste à déposer une couche de métal protecteur épaisse de 5 à 20 microns (1 micron ou $\mu\text{m} = 1/1.000.000$ mètre) sur chaque face de la tôle d'acier. Le choix de l'alliage dépend du type d'application, du niveau de protection désiré et de l'esthétique souhaitée.

Tous les produits en acier peuvent être revêtus : les tôles et les fils sont généralement revêtus en continu tandis que les profilés comme les cornières et les poutrelles sont revêtus «à façon» c'est-à-dire pièce par pièce. Il existe deux techniques de revêtements : l'électrozingage et l'immersion à chaud dans un bain contenant du métal fondu.



● Principaux revêtements métalliques

Électrozingué : revêtement de zinc pur, mince, très uniforme mais assez coûteux, qui s'applique à température ambiante sur toutes les qualités d'acier et offre une qualité de surface impeccable. Utilisé essentiellement pour l'automobile et l'électroménager, il est pratiquement toujours peint car sa résistance à la corrosion est limitée. Ceci est dû au fait que pour des raisons économiques l'épaisseur du revêtement est généralement faible ($< 10\mu\text{m}$).

Revêtements à chaud : ces revêtements sont le plus souvent composés de zinc et/ou d'aluminium. L'aluminium apporte un effet barrière très efficace grâce à son effet passivant (voir fiche consacrée à ce métal). Le zinc est également légèrement passivant mais il apporte surtout une protection cathodique au fer. En cas de griffe avec mise à nu de l'acier, celui-ci ne rouille pas temps qu'il y a du zinc à proximité : c'est la protection sacrificielle. Avec la combinaison des deux éléments chimiques, il est possible de moduler les deux effets et d'optimiser le revêtement pour une application donnée.

● Exemples d'applications



Pièces d'automobile fabriquées à base de tôle galvanisée au trempé



Échantillon fourni : godet fabriqué à partir de tôle galvanisée (Z)



Cornières galvanisées à façon (Z)



Halle industrielle : toit en Galvalume
Photo : Agence ASK ROMEIN



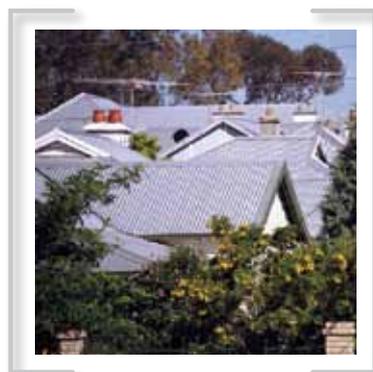
Pot d'échappement en acier aluminé (AS)

La matière avant transformation



Bain de zinc

La matière appliquée



Toitures en Galvalume



4.07a

- Godet en acier galvanisé (Z) de qualité supérieure destiné à l'automobile. Il s'agit d'un acier pour emboutissage profond. Le godet a été fabriqué à partir d'un disque de 125 mm de diamètre.

4.07b

- Panneau sandwich circulaire associant deux tôles de Galvalume au «fleurage» très caractéristique. Cet échantillon est recouvert d'un film organique très mince qui constitue une protection supplémentaire en particulier contre les empreintes digitales.

Description des principaux revêtements métalliques

Code	Fabrication	Composition du revêtement	Applications principales
Z	à chaud	Zinc pur	Revêtement universel aux applications multiples
ZE	électrolyse	Zinc pur	Automobile et électroménager
ZF	à chaud	Zinc - 10% Fer (Galvannealed)	revêtement de zinc pur recuit, utilisé dans l'automobile
ZA	à chaud	Zinc - 5% Aluminium (Galfan®)	Excellente sous-couche avant peinture
AZ	à chaud	Aluminium - 43.5% Zinc - 1.5% Silicium (Galvalume®)	Surtout utilisé dans le bâtiment même à l'état nu pour les toitures et les bardages
AS	à chaud	Aluminium - 10% Silicium	fours, pots d'échappement
AL	à chaud	Aluminium pur	Produit de «niche» utilisé dans l'industrie chimique

Principales caractéristiques

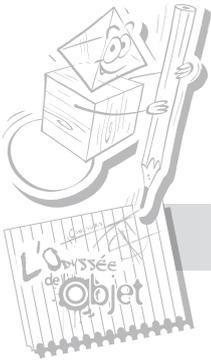
Propriété	Non revêtu	ZE	Z	ZF	ZA	AZ	AS AL
Emboutissabilité							
Sensibilité au poudrage	++	+	+	--			
Résistance à la friction	0	--	--	+			
Résistance à la corrosion							
Non déformé	--	0	0	0	+	++	++
Déformé, plié	--	0	0	0	+	0	-
Peint	-	+	+	+	+	0	0
Protection cathodique	--	++	++	0	+	0	--
Adhérence de la peinture	++	++	+	+	+	+	-
Soudabilité	++	+	0	++	0	-	--
Réflexivité	0	0	0	-	0	+	++
Aspect après peinture	++	++	0	+	0	-	-
Aptitude au collage	++	+	+	-	+	+	+

++ excellent, + bon, 0 moyen, - faible, -- médiocre

Référence de fiche

4.07

- Couleur de la famille, ici les métaux
- N° de la famille, ici les métaux
- N° de fiche, ici l'Acier revêtu
- Sens de lecture de la référence



Aciers revêtus • Organiques & nouveaux

- Les revêtements métalliques à base de zinc et/ou d'aluminium protègent durablement l'acier contre la corrosion. Cependant, pour des raisons esthétiques le client veut pouvoir choisir la couleur, la texture et la brillance de la surface.

C'est pourquoi il est souvent nécessaire d'appliquer une ou plusieurs couches de peinture sur le revêtement métallique. Quand il n'y a pas de risque de corrosion, la peinture peut aussi être appliquée sur l'acier nu.

Ces revêtements organiques peuvent évidemment être appliqués après fabrication des objets comme c'est le cas pour les voitures par exemple, mais chaque fois que c'est possible, il est préférable de réaliser l'application en usine et de produire en continu des tôles d'acier prélaquées. Par ailleurs, des tôles décoratives peuvent également être obtenues par dépôt d'un film adhésif qui permet d'obtenir des textures particulières comme l'imitation bois par exemple. L'aspect doré peut quant à lui être obtenu par un dépôt très mince (< 5µm) à base de titane et obtenu par évaporation sous vide (technique PVD). Des vernis colorés translucides sont également disponibles. A noter que tous ces revêtements peuvent aussi être appliqués sur l'aluminium.

A côté de ces revêtements à vocation essentiellement esthétique, des revêtements appelés «fonctionnels» peuvent également être appliqués. Souvent invisibles, certains films rendent la surface auto-nettoyante ou bactéricide, d'autres améliorent la passivation de la surface, d'autres encore améliorent la réflectivité.

De nouvelles fonctions sont proposées régulièrement par les producteurs, mais les plus gros volumes de production concernent encore les aciers prélaqués que nous allons détailler ci-après.

- Production des aciers prélaqués

Le processus de production continu garantit un excellent contrôle de l'épaisseur, de la couleur, de la brillance, de l'aspect de la surface, de la résistance à la corrosion et de l'adhérence de la peinture.

Avant peinture, le support est d'abord nettoyé et revêtu d'une couche de conversion afin de garantir une bonne adhérence des couches de peinture. Le support ainsi prétraité est ensuite enduit d'un apprêt ou primaire, suivi en général d'une deuxième couche fonctionnelle.

Du côté non visible du matériau, on se limite le plus souvent à une peinture monocouche. L'application de la peinture s'effectue à l'aide de rouleaux à une vitesse de plusieurs dizaines de mètres par minute. La peinture humide est séchée et cuite dans un four continu à 200°C. Après le four, la bande est refroidie et peut éventuellement recevoir une deuxième couche de peinture.

- Exemples d'applications



Peinture en continu d'une bande d'acier



Radiateurs



Application des revêtements PVD



Exemples d'applications



Toiture en acier prélaqué



Application des revêtements PVD



Applications de l'acier prélaqué :
cité du train Mulhouse

Applications

- Les applications principales de l'acier prépeint se trouvent dans le marché de la construction et en particulier les bardages (murs extérieurs) des bâtiments industriels, les toitures métalliques, les lamelles de faux-plafond, etc.

Ces aciers sont également utilisés pour les électroménagers (frigos, machines à laver, fours à micro-ondes, ...) et le mobilier métallique.

Distribution et fabricants d'articles

Adresse générale : **Comité sectoriel de main-d'œuvre de la métallurgie du Québec**

2035, rue Victoria, bureau 306

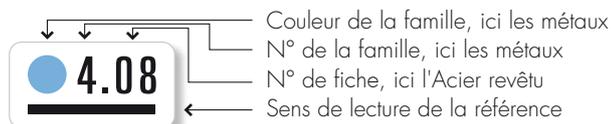
Saint-Lambert (QC)

J4S 1H1

Tél. (450) 766-0851

<http://www.metallurgie.ca>

Référence de fiche





Aciers pour emballages • canettes, boîtes de conserve

Aciers pour emballages • canettes, boîtes de conserve

- Qui n'a jamais eu dans ses mains une canette de soda ? Les canettes et plus généralement les boîtes de conserve font partie intégrante de notre quotidien. Mais qui sait que cette forme d'emballage existe depuis plus de cent ans ?

C'est l'Anglais Peter Durand qui fit breveter en 1810 les boîtes en fer-blanc, un acier laminé et étamé. On situe vers 1880-1890, le début de la production en série de boîtes alimentaires. Les boîtes étaient et sont toujours fabriquées en acier, même si l'aluminium est aujourd'hui largement utilisé, en particulier aux États-Unis.

La fabrication de cet objet, somme toute anodin, fait pourtant appel à des technologies très avancées. D'ailleurs, savez-vous que :

- La cadence de production typique est de 2000 canettes par minute soit plus de 30 par seconde.
- L'épaisseur des parois d'une canette est inférieure à 100 μm , soit l'épaisseur d'un cheveu.
- La pression à l'intérieur d'une canette peut atteindre 7 bars.
- Une canette de 33 cl pèse en moyenne 17 g et a diminué son poids de plus de 30% en 20 ans.
- 225 milliards de canettes sont consommées dans le monde chaque année.
- La canette est 100% recyclable. *En Belgique, plus de 93% des canettes sont récupérées et recyclées* (c'est le record du monde !).

- Description de l'acier pour emballage (encore appelé fer blanc)

Il s'agit d'un acier doux ou extra doux laminé à froid ($C < 0,08\%$) recouvert d'une couche d'étain déposée par voie électrolytique et dont l'épaisseur est de 1 μm environ. La protection intérieure des boîtes de conserve peut être renforcée par la présence d'un vernis époxyphénolique d'une épaisseur de 5 μm .

Les feuilles d'acier utilisées sont généralement de l'ordre de 0,2 mm d'épaisseur. À côté du fer blanc, on trouve encore le fer chromé. L'acier de base est le même, mais au lieu d'être revêtu d'étain, il est recouvert d'une très mince couche de chrome oxydée en surface (épaisseur : 0.010 à 0.020 μm). L'électrolyse de la bande s'effectue en continu, celle-ci passant dans une succession de bacs d'électrolyse, dans lesquels l'étain ou le chrome se dépose.

Différents traitements thermiques sont encore nécessaires pour garantir l'adhérence de l'étain sur le fer (ce qui rend la surface brillante) et pour cuire le vernis.

- Exemples d'applications





Exemples d'applications



Les formes de boîtes sont très variables



Nouvelles formes de barquettes en acier compatibles avec le four à micro-ondes



Recyclage des canettes et des boîtes de conserve

Étapes de la fabrication d'une boîte de conserve



Remarquez que l'impression est faite avant la mise en forme (1 à gauche). Il est donc impératif de pouvoir prédire le mode déformation de la tôle pour pouvoir déformer le motif imprimé qui sera restauré après emboutissage.



La boîte est généralement fabriquée en deux pièces, **le fond** et **le corps** étant obtenus à partir d'une même feuille (voir photos 1). Le couvercle est fabriqué à part avant d'être serti sur la boîte. Dans certains cas, trois pièces sont nécessaires : le corps est alors une tôle roulée et soudée auquel deux couvercles sont ajoutés.

Applications

- Boîtes de conserve, canettes, bouchons capsules, barquettes, emballages métalliques (boîtes à biscuits, à café, à thé...) et, dans un autre registre, pots de peintures et fûts en tous genres.

Distribution et fabricants d'articles

Adresse générale : **Comité sectoriel de main-d'œuvre dans la fabrication métallique industrielle**
 5245, boulevard Cousineau, bureau 3300
 Longueuil (QC)
 J3Y 6J8
 Tél. (450) 812-0300
<http://www.comiteperform.ca>

Référence de fiche

