

1 - LES METAUX ET ALLIAGES METALLIQUES

1.1 - Les alliages à base de fer

Les alliages à base de fer (aciers et fontes) jouent et continuent de jouer un rôle capital sur le plan technologique. Ils constituent en masse près de 90 % de la production mondiale de matériaux métalliques. Plusieurs facteurs expliquent cette importance : les alliages ferreux se prêtent facilement à une production en masse, ils sont bon marché et on peut les acquérir sous des formes très variées grâce à la diversité des traitements thermiques et des éléments d'addition. Ils ont un fort module d'élasticité et une forte limite élastique.

L'acier est un alliage de fer et de carbone renfermant au maximum 2 % de ce dernier élément. La fonte contient, quant à elle, de 2 à 5 % de carbone. Contrairement à cette dernière, l'acier est un métal ductile¹ : il peut subir des changements de forme par compression ou extension à chaud ou à froid. Il est caractérisé par une propriété fondamentale : il « prend la trempe », c'est-à-dire qu'il est susceptible d'acquérir une grande dureté lorsqu'il est chauffé à une température suffisamment élevée et refroidi à une vitesse assez grande.

1.1.1 - Les aciers d'usage général (S355, E335)

Ces aciers sont définis principalement par leurs propriétés mécaniques. Leur résistance mécanique est de l'ordre de **500 MPa** pour la rupture et de **350 MPa** pour la limite élastique ; ils sont ductiles puisque leur teneur en carbone est faible (elle ne dépasse pas 0,2 %) ; l'allongement relatif avant rupture est de l'ordre de **25 %**. Ces aciers sont produits sous la forme de profilés (produits longs) ou sous la forme de tôles (produits plats) en fonction de leur utilisation.

1.1.2 - Les aciers à outils (35 Cr Mo 4, 100 Cr 6)

Toutes les étapes de la fabrication nécessitent des outils dont les conditions d'utilisation peuvent être très variées (chocs, tranchant, dureté). La teneur en carbone est en général assez élevée (de l'ordre de 0,6 à 1 %) sauf pour les outils travaillant aux chocs (moule d'injection pour matière plastique). Ce sont en général des aciers fortement alliés de chrome (entre 5 et 12 %) pour éviter la corrosion. Ils doivent posséder la dureté la plus élevée possible, une très bonne résistance à l'usure et une grande ténacité.

1.1.3 - Les aciers de traitement thermique (C 32, 20 Ni Cr 6, 35 Ni Cr Mo 16)

On distingue 3 grands types de traitement thermique : les recuits, les traitements dans la masse (trempe², revenu³, austénisation⁴) et les traitements de surface (trempe superficielle, nitruration, cémentation). Ces aciers sont définis par leur composition chimique. Celle-ci détermine le type de traitement qu'on peut leur appliquer. Les aciers de traitement thermique sont soit des aciers au carbone (sans autre élément d'addition que les éléments d'accompagnement, Mn et Si), soit des aciers alliés contenant en proportions variables, un ou plusieurs éléments d'addition (Cr, Ni, Mo, V, ...) ; le chrome favorise le durcissement et augmente la résistance à la corrosion ; le nickel augmente la ténacité⁵ à basse température ; le molybdène augmente la résistance mécanique et la dureté ainsi que la résistance au fluage⁶, ...

¹ ductile : qui peut être déformé de façon permanente sans se rompre

² trempe : traitement thermique consistant à chauffer à une certaine température de transformation structurale et à refroidir plus ou moins rapidement pour obtenir un état hors d'équilibre.

³ revenu : traitement thermique consistant à un réchauffage régulier suivi d'un refroidissement lent, après trempe, ayant pour fonction d'augmenter la résistance aux chocs (résilience).

⁴ austénite : solution solide d'insertion de carbone dans le fer γ (structure CFC).

⁵ ténacité : résistance au choc.

⁶ fluage : déformation plastique évoluant dans le temps.

1.1.4 - Les aciers inoxydables (X 30 Cr 13, X 8 Cr Ni 18-12)

Les aciers inoxydables comprennent un ensemble de familles d'alliages à base de fer dont la principale propriété est la résistance à la corrosion généralisée. Toutefois, bien qu'on les qualifie d'inoxidables, ces aciers ne sont pas dans tous les cas totalement exempts d'une possibilité de corrosion. Le chrome est l'élément essentiel qui, à des teneurs supérieures à environ 12 % rend l'acier inoxydable en favorisant, en milieu oxydant, la formation d'un film passif à sa surface.

On utilise ce type d'acier en visserie, pour les ressorts, pour les arbres de pompes, la coutellerie ...

1.2 - Les alliages non ferreux

Bien que ne représentant que 10 % des matériaux métalliques utilisés industriellement, les alliages non ferreux n'en restent pas moins utilisés pour certaines de leurs propriétés spécifiques : masse volumique faible, propriétés électriques, résistance à la corrosion et à l'oxydation, facilité de mise en œuvre. Ces avantages l'emportent dans certaines applications, malgré le coût de revient plus élevé de ces alliages. Nous nous limiterons aux alliages de l'aluminium, du cuivre et du zinc.

1.2.1 - L'aluminium et ses alliages

Les alliages d'aluminium présentent tous les avantages recensés ci-dessus. Le point de fusion de l'aluminium, notamment, est bas (~ 660 °C) ce qui le rend particulièrement apte aux opérations de fonderie. L'aluminium étant par ailleurs très ductile, on peut aisément le mettre en forme à l'état solide, par déformation plastique (laminage, filage à la presse, étirage,...). Ils ont de bonnes propriétés mécaniques spécifiques (leur masse volumique est de 2700 kg.m⁻³, soit près de trois fois moins que l'acier) et résistent assez bien à la corrosion grâce à la formation d'une couche d'oxyde Al₂O₃ en surface, mais leur tenue mécanique au-delà de 150 °C pose problème ainsi que leur tenue en fatigue et en corrosion sous contrainte. Ils sont de plus difficile à souder et relativement chers. Il existe de nombreux alliages d'aluminium que se soit des alliages corroyés ou des alliages de fonderie.

Compte tenu de ces avantages, c'est un alliage principalement utilisé en aéronautique, dans l'industrie alimentaire, pour les articles de sport et les structures utilisées en atmosphère marine.

1.2.2 - Le cuivre et ses alliages

noms	désignation	R (MPa)	remarques
Laitons	Cu Zn20	200-260	bonnes qualités de frottement - mise en œuvre aisée
	Cu Zn23 Al4	500	excellentes caractéristiques mécaniques - fonderie
Cupro-aluminiums	Cu Al11 Ni5 Fe5	740-800	excellente résistance à la corrosion - inoxydable à haute θ°
	Cu Al9	500	utilisé en construction navale
Cupro-nickels	Cu Ni10 Fe1 Mn	300-350	utilisé en construction navale
Bronzes	Cu Sn 5	340-390	très bonne tenue aux frottements
	Cu Sn7 Pb6 Zn4	220	aptitude à l'étanchéité - excellentes propriétés de fonderie

Les principales qualités du cuivre sont : une très bonne conductibilité électrique et thermique, une résistance convenable à l'usure. Ils sont cependant sensibles à la corrosion et sont chers. Ses domaines d'application exploitent directement ces propriétés puisqu'on utilise presque la moitié de la production mondiale de cuivre pour du matériel électrique (conducteur, transformateur, moteurs électriques...). Le reste de la production est principalement utilisé pour les tuyaux à eau, la plomberie, les pompes et les vannes... Associé à l'étain ou à l'aluminium, il possède de bonnes propriétés de surface (résistance à l'usure et au frottement), on l'utilise comme palier de guidage, comme pignon...

Température de fusion : 1 080 °C,
Masse volumique : 8 900 kg.m⁻³.

1.2.3 - Le zinc et ses alliages

Les principaux avantages des alliages de zinc sont leur faible température de fusion (~ 420 °C) et leur excellente coulabilité. Ils sont donc principalement destinés à la fonderie, ce qui permet d'obtenir des pièces de forme très complexe et d'épaisseur très mince (~ 0,4 mm). Leur faible coût de revient permet de concurrencer les alliages d'aluminium ou de cuivre et même souvent les matières plastiques. On utilise largement les alliages de zinc dans l'automobile (carburateur, pompe à essences...), dans l'électroménager, en quincaillerie et en mécanique de précision (appareils photographiques, horlogerie...)

Les principaux alliages de zinc sont les **zamaks** qui contiennent 4 % d'aluminium, 0,04 % de magnésium et 1 % de cuivre ou pas du tout. Exemple de désignation du zamak 3 : Z - A4G, et du zamak 5 : Z - A4 U1 G.

Masse volumique du zinc : 7 100 kg m⁻³.

1.2.4 - Le titane et ses alliages

Les caractéristiques tout à fait particulières du titane et de ses alliages en font un métal de choix pour de nombreuses utilisations, notamment dans les domaines aéronautiques et aérospatial et dans l'industrie chimique. La masse volumique du titane (4540 kg.m⁻³) se situe entre celle de l'aluminium et du fer ; toutefois, le rapport résistance mécanique sur masse volumique des alliages de titane est nettement supérieur à celui des autres métaux. La résistance à la corrosion du titane et de ses alliages est excellente (le titane est passivable grâce à la formation d'un film protecteur de TiO₂) ; elle est supérieure à celle des aciers inoxydables. Les alliages de titane peuvent manifester une bonne tenue mécanique à chaud (jusque vers 700 °C) et une bonne résistance à l'oxydation ; cependant, à des températures plus élevées, ils risquent de se charger en impuretés (oxygène, hydrogène), ce qui altère leurs propriétés mécaniques.

Température de fusion : 1 670 °C.

2 - LES POLYMÈRES : LES MATIÈRES PLASTIQUES

Les principaux thermoplastiques et leurs emplois

La rapidité de mise en œuvre des thermoplastiques (injection et extrusion notamment), et la possibilité de réutiliser les déchets ont favorisé leur emploi dans tous les cas où on les utilise à des températures inférieures à 100 °C. Ils ont donc souvent, dans ces domaines, remplacé les thermodurcissables, dont la transformation est plus longue.

Les thermoplastiques de grande diffusion

familles	désignations	utilisations
les vinyliques	PVC rigide PVC souple	tubes, profilés, bouteilles revêtements de sol, joints, isolants
les polyoléfines	PEbd PEhd PP	gaines, films, sacs pièces moulées, films fils, films, pièces moulées
les styréniques	PS PSC choc PSE expansé SAN ABS	emballages thermoformés ou injectés, ameublement, TV, HIFI, électroménager isolation thermique pièces moulées pièces moulées
les acryliques	PMMA PAN	plaques transparentes, feux de position corps creux pour cosmétiques

Les thermoplastiques techniques

Ils sont nommés ainsi à cause de leurs facultés à remplir les fonctions techniques autrefois réservées aux métaux.

On les retrouve soit discrètement dissimulés dans un appareil électroménager (engrenages), soit au contraire bien visibles (feux arrières d'une automobile). Ils sont présents sur les grands marchés comme l'électricité, l'électrotechnique, l'automobile, l'électroménager, l'outillage et les loisirs.

familles	désignations	utilisations
les polycarbonates	PC	vitrage, lanternerie, CD, matériel médical
les polyamides	PA	roues dentées, paliers, ventilateurs
les polyesters saturés	PET, PBT	électrotechnique, électroménager, bouteilles, films, barquettes
les polyoxydes de phénylène	PPO	pour micro-ondes
les polysulfurés	PSU	automobiles, micromécanique, carters
	PPS	aéronautique, électrotechnique, robinetterie
les polyoxyméthylènes	POM	pièces techniques, matériel médical, pompes
les polyfluorés	PTFE, PVDT	pièces mécaniques, engrenages
		anti-corrosion, lubrification, glissement, isolation électrique

Les thermodurcissables

Bien que les polymères thermodurcissables soient moins employés que les thermoplastiques, ils demeurent intéressants pour des températures d'utilisation comprises entre 100 et 200 °C. Ils subissent pendant leur transformation, une opération chimique de polymérisation de fixation (chaleur, pression, température). Leur durcissement est irréversible, les déchets ne sont donc pas réutilisables.

3 - LES MATERIAUX COMPOSITES

La recherche permanente des performances techniques jointe au besoin d'optimisation et d'allègement de certaines structures, a motivé l'utilisation puis le développement de matériaux spécifiques dont la composition et les caractéristiques ont été adaptées à la solution technologique des problèmes à résoudre.

Les matériaux composites ont été développés dans cet état d'esprit.

L'idée de base est d'associer dans une même masse des matériaux différents par leurs natures chimiques et géométriques afin d'augmenter les performances globales du point de vue mécanique, physique et/ou chimique ainsi que de faciliter la mise en œuvre.

Des charges à renforts fibreux ont ainsi été introduites et mélangées à des matrices métalliques, céramiques ou plastiques. Mais l'association matrice-élément renforçant ne peut être quelconque et dépend :

- de la compatibilité chimique des matériaux en contact ;
- du procédé de mise en œuvre choisi en relation avec la géométrie de la pièce et les séries envisagées ;
- de la résistance mécanique, chimique,... attendue ;
- des coûts de fabrication, produits de base, transformation et finition éventuellement complétés du coût des contrôles.

Il est possible de distinguer deux grandes classes de matériaux composites :

- **Les composites « grandes diffusions »**, les plus courants qui, pour un coût modéré, apportent des propriétés mécaniques intéressantes mais restent - sauf cas d'espèce - inférieures à celles des métaux. Il s'agit pour l'essentiel de l'association renfort fibre de verre-résine polyester.

- **Les composites « hautes performances »**, qui apportent des caractéristiques mécaniques spécifiques supérieures à celles des métaux et utilisent généralement des renforts fibres de carbone ou d'aramide (kevlar) avec des résines époxydes. Les coûts de ces matériaux sont élevés.

On notera la faible part pondérale des composites hautes performances qui représentent 2 % de l'ensemble des composites.