

Résumé de cours

« Matériaux »

Benjamin MARTIN
Publié sur <http://www.ifrance.com/espace-prepa/>

Structure des corps solides

Les types de réseau cristallin

Chaque atome attire autant de voisins qu'il le peut. Il en résulte une structure compacte et résistante ayant des liaisons courtes et une densité élevée.

Il existe deux formes d'assemblage compact :

- Le réseau hexagonal compact (HC)

On y trouve par exemple :
- Le magnésium
- Le cobalt pour une température inférieure à 477°C

- Le réseau cubique à faces centrées (CFC), il y a un atome au centre de chaque face

On y trouve par exemple :
- L'aluminium
- Le cobalt pour une température supérieure à 477°C
- Le fer γ (ou austénite) (906°C)

- Le réseau cubique centré (CC), pas d'atome au centre des faces mais un au centre du cube

On y trouve par exemple :
- Le fer α (ou ferrite) (température ambiante)

Les solides amorphes

Un matériau amorphe est un matériau pour lequel ses molécules possèdent une structure fondamentale qui n'est pas régulière (un motif qui se répète). Ainsi on trouve le verre, la silice amorphe, les polymères (plastiques) et les élastomères (caoutchoucs) comme exemples de matériaux amorphes.

En général les matériaux ne sont ni purement cristallin ni purement amorphe mais sont un agrégat de petits cristaux ; on dit qu'ils sont polycristallins. Pour simplifier on dit qu'ils sont isotropes, c'est-à-dire qu'ils possèdent les mêmes propriétés en tout point et ce dans toutes les directions autour de ce point.

Propriétés de mise en forme

La moulabilité

La moulabilité est l'aptitude d'un matériau à l'état liquide à être coulé dans des empreintes (moule) en vue d'obtenir des pièces brutes de forme plus ou moins complexe. Elle est directement liée à la coulabilité.

La coulabilité

La coulabilité est l'aptitude d'un matériau fondu à bien remplir le moule et à reproduire fidèlement son empreinte.

Si la coulabilité est trop faible il peut y avoir des trous dans le remplissage (surtout dans les sections de faible diamètre).

L'augmentation de température augmente la coulabilité de tous les métaux et alliages métalliques.

Les inclusions non métalliques dans un alliage diminuent sa coulabilité.

La coulabilité est testée dans une éprouvette en forme de spirale, la longueur parcourue par le métal avant la solidification permet de caractériser la coulabilité.

Exemples : - Les fontes : Elles ont une bonne coulabilité et donc une bonne moulabilité.

La teneur en soufre diminue la coulabilité d'une fonte.

- Les aciers : Ils ont une coulabilité inférieure à celle des fontes.

La soudabilité

Le soudage de deux pièces métalliques consiste à chauffer l'endroit de leur contact jusqu'à la fusion ou jusqu'à l'état plastique (par pression).

La soudabilité d'un métal est son aptitude à être soudé avec lui-même ou avec un autre alliage métallique.

La fonte a une mauvaise soudabilité car elle présente des inclusions de graphite libre.

La soudabilité des aciers est très influencée par la teneur en carbone, plus le pourcentage de carbone est important, plus la soudabilité est mauvaise. Une présence trop importante de soufre est nocive pour la soudabilité, elle provoque la fissuration du métal à chaud.

La ductilité

La ductilité est l'aptitude d'un matériau, sous la contrainte, à acquérir de grandes déformations permanentes avant de se rompre.

La ductilité en traction est donnée par l'allongement pour cent : A%

Classement par ordre de ductilité croissante :

Fontes < Alliages cuivreux < Aciers < Alliages d'aluminium.

L'usinage

L'usinabilité est l'aptitude d'un matériau à être façonné à l'outil coupant, donc à se laisser transformer en copeaux.

La présence de silicium améliore l'usinabilité de la fonte, alors que la présence de manganèse la rend pratiquement inusinable.

En ajoutant des éléments non miscibles à l'acier ou des inclusions de sulfure on lui donne une usinabilité maximale.

A résistance ou dureté égale, les aciers non alliés s'usinent mieux que les aciers nickel-chrome.

L'usinabilité d'un acier non allié est maximale pour une teneur d'environ 0,25% de carbone, si la teneur en carbone augmente, l'augmentation de la ténacité rend plus difficile l'enlèvement de copeaux. Si à l'inverse elle diminue, le copeau est alors très ductile et donc adhère à l'outil : il devient donc difficile à évacuer.

L'essai de tournage à vitesse de coupe accélérée ou essai BRANDSMA consiste à dresser la face d'un disque à l'aide d'un outil en acier rapide. La vitesse de coupe croît linéairement en fonction du temps et de la longueur usinée jusqu'à la destruction du bec d'outil.

Propriétés tribologiques

La tribologie est la science qui s'intéresse aux surfaces en contact, animées d'un mouvement relatif (notion de déplacement et de vitesse entre deux corps).

Le phénomène d'usure adhésive

Sous l'action des contraintes dues à l'utilisation et à la température, les matériaux subissent des déformations élasto-plastiques qui entraînent l'apparition de micro liaisons entre les deux solides. Ce phénomène peut entraîner un grippage généralisé. Ce phénomène s'accélère avec l'augmentation de la pression exercée, de la vitesse de glissement (de laquelle dépend la température superficielle du matériau), l'état de surface (plus il y a d'aspérités plus le phénomène a lieu car la pression se répartit sur une petite surface), mais aussi de l'environnement (présence de lubrifiant), de la nature des matériaux.

Pour éviter ce phénomène il faut : - Eviter le contact métal/métal (présence de lubrifiant).

- Eviter les déformations plastiques en augmentant leur dureté ou en diminuant la pression de charge.

- Limiter les échauffements par diminution de la vitesse de glissement, de la charge, du coefficient de frottement, par évacuation de la chaleur dégagée dans les zones de contact. Pour les métaux, il faut que la température soit inférieure à 0.3 fois la température de fusion.

- Limiter l'aptitude à l'adhésion des matériaux en contact, par exemple en choisissant des métaux insolubles entre eux.

Le phénomène d'usure abrasive

L'usure abrasive se manifeste par des rayures, des griffures, des polissages et des arrachements de micro-copeaux dus à l'action de particules mobiles qui viennent agresser les

surfaces solides. Ces particules peuvent aussi être enchâssées dans l'une des surfaces et agresser l'autre.

Pour éviter ce phénomène il faut : - Eliminer les particules par filtrage.
- Aménager des rainures pour les retenir.
- Augmenter la dureté du métal.

Le phénomène d'usure érosive

L'usure érosive peut être définie comme la perte de matière provoquée par l'action d'un fluide en mouvement contenant des particules solides de faible dimensions qui heurtent les surfaces en endommageant les couches superficielles.

Par exemple l'érosion par cavitation d'un matériau en mouvement par rapport à un liquide, dans une région d'implosions de bulles de vapeur. Ces implosions provoquent des pics élevés de température et de contraintes par impact du liquide sur les parois et effet d'onde de choc, ce qui entraîne l'extraction de particules par érosion et fatigue.

Le phénomène d'usure par fatigue

Chaque fois que les phénomènes tribologiques se répètent de façon cyclique, on est confronté à des phénomènes de fatigue superficielle.

Par exemple, dans un roulement, la contrainte de cisaillement est maximale pour les points situés un peu en dessous de la surface sous la bille. La fatigue créée en ces points des amorces de fissures, qui se propagent vers la surface, et provoquent le phénomène d'écaillage des chemins de roulement.

Le phénomène d'usure induite par petits débattements

Un petit débattement entre deux surfaces entraîne une usure manifestée par l'émission de particules provenant des oxydes superficiels et de la dégradation des corps en contact, il y a formation d'une poudre fine (rouge ou noire selon les matériaux).

Grandeurs caractéristique en tribologie

Le coefficient de frottement de glissement

Le coefficient de frottement de glissement entre deux corps est le rapport de la force tangentielle qui s'oppose au mouvement relatif à la force normale qui les appuie l'un sur l'autre.

Quelques coefficients de frottement de glissement :

Acier sur acier (à sec)	0.2
Acier sur acier (lubrifié)	0.12
Acier inox sur bronze (lubrifié)	0.05

La rugosité

La rugosité influe sur le coefficient d'adhérence, de frottement, la stabilité du régime de lubrification, la résistance à la fatigue.

La phase de rodage correspond toujours à une diminution de la rugosité des surfaces.

Le produit p.V

Le produit p.V donne des indications sur les performances pratiques d'un couple de matériaux en frottement.

Valeur du produit p.V

Avec p en MPa

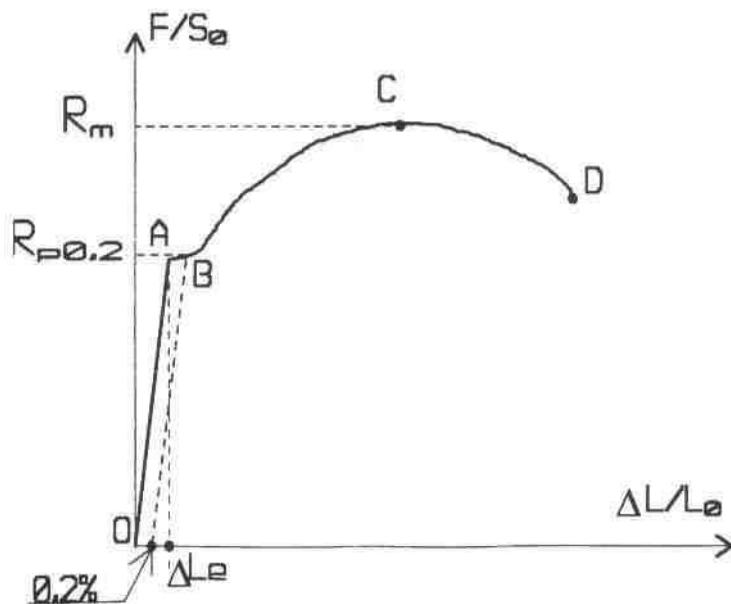
V en m.s⁻¹

Et donc p.V en MPa.m.s⁻¹

Coussinet en bronze fritté	$p.V_{\text{Maxi}} = 1.8$
Coussinet en bronze plastifié	$p.V_{\text{Maxi}} = 2.4$

Propriétés mécaniques

L'essai de traction



Etude du graphe :

- Zone OA : domaine de déformation élastique (réversible).
- Zone AC : domaine de déformation plastique (permanente), cette déformation est répartie sur toute la pièce.
- En C : on passe dans la zone de non retour, passé ce point la pièce ne peut que se rompre.
- Zone CD : domaine de déformation plastique localisé à la zone de striction.
- En D : la rupture se produit.

On obtient grâce à cet essai le module de Young (E) (ou d'élasticité longitudinal) ; ce module correspond à la pente du segment OA

$$E = \frac{\sigma_{ee}}{\varepsilon_{(A)}}$$

On prend comme unité le MPa

Acier	2 à 2.2*10 ⁵
Fonte	1.7 à 1.9*10 ⁵
Alliage d'aluminium	0.69 à 0.79*10 ⁵
Alliage de cuivre	1.2 à 1.5*10 ⁵

De l'essai de traction on en déduit plusieurs caractéristiques :

- La limite d'élasticité R_e : elle correspond à la valeur de la contrainte normale σ_{ee} , correspondant au quotient de la force exercée au point A par l'aire de la section initiale S_o

$$\sigma_{ee} = \frac{F(A)}{S_o} = \frac{F(A)}{\frac{\pi \times d^2}{4}}$$

- La résistance à la traction R_m : elle correspond à la valeur de la contrainte normale σ_{re} , correspondant au quotient de l'effort maximal relevé au point C par l'aire de la section initiale S_o

$$\sigma_{re} = \frac{F(C)}{S_o} = \frac{F(C)}{\frac{\pi \times d^2}{4}}$$

- L'allongement A% :

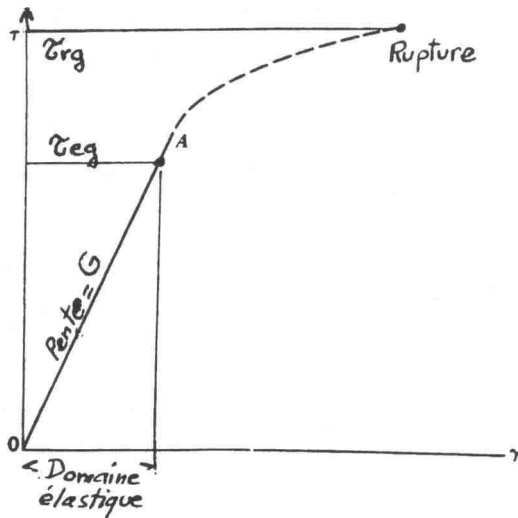
$$A\% = 100 \times (L_r - L_o) / L_o = \varepsilon \times 100$$

Avec L_o la longueur initiale

Et L_r la longueur finale à la rupture (au point D)

- L'écroutissage : L'écroutissage est une opération de déformation plastique d'un métal à une température inférieure à celle de recristallisation. Cette opération permet d'augmenter la limite élastique, la charge de rupture et la dureté du métal, mais la ductilité (allongement et résilience) et la densité diminuent.

L'essai de torsion



On a en abscisse γ qui représente l'angle d'inclinaison des génératrices et en ordonné τ la contrainte de cisaillement.

On utilise des éprouvettes tubulaires à paroi mince. En effet des éprouvettes pleines faussent les mesures car le phénomène étudié n'est pas que de la torsion, l'intérieur de l'éprouvette subit des efforts de tractions.

De l'essai de torsion on en déduit plusieurs caractéristiques :

- La limite élastique du cisaillement (τ_{eg}).
- La limite de rupture de cisaillement (τ_{rg}).

De plus on utilise souvent le rapport τ_{rg} / R_m :

Acier extra doux	$\tau_{rg} / R_m = 0.5$
Acier dur	$\tau_{rg} / R_m = 0.8$

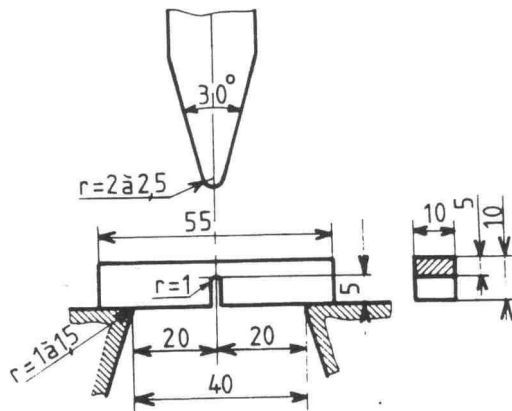
- Le module de Coulomb noté G .
- Le coefficient de Poisson (ν): Si on connaît le module de Young (E) par les essais de traction et le module de Coulomb G par les essais de torsion on peut en déduire le coefficient de Poisson :

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)}$$

Pour un acier on a :

Module de Coulomb en MPa	82×10^3
Coefficient de Poisson	0.27

L'essai de résilience



L'essai de résilience a pour but de caractériser la ductilité d'un métal en mesurant l'énergie absorbée lors de la rupture en flexion par choc d'une éprouvette entaillée.

La résilience KU en Joules est l'énergie absorbée par la rupture de l'éprouvette entaillée en U.

La résilience KCU « CHARPY » en Joules/cm² est le quotient de l'énergie absorbée par la rupture par l'aire initiale S₀ de section de l'éprouvette entaillée en U.

Valeur du KCU en Joules/cm² :

Acier doux type S235	60 à 70
Acier dur type C45	30

L'essai de dureté

La dureté caractérise la résistance qu'un matériau oppose à la pénétration d'un corps dur.

La dureté dépend des caractéristiques du matériau mais aussi de la nature et la forme du pénétrateur et du mode de pénétration.

Les différents types d'essais :

Pénétrateur	Brinell	Rockwell		Vickers
Nature	Acier trempé ou carbure de tungstène	Diamant	Acier trempé	Diamant
Forme	Bille	Cône ($\theta = 120^\circ$)	Sphère	Pyramide à base carrée ($\theta = 136^\circ$)

- L'essai Brinell : dureté HB :

On exerce un effort F (en N) sur la bille tel que :

$$F = 9.81 \times k \times D^2$$

Avec D le diamètre de la bille en mm et k en fonction du matériau (k=30 pour un acier).

Lors de l'essai, la charge est maintenue pendant 15 sec pour les matériaux ferreux et 30 sec pour les non ferreux.

Puis on mesure le diamètre d de l'empreinte laissée, on obtient ainsi la dureté :

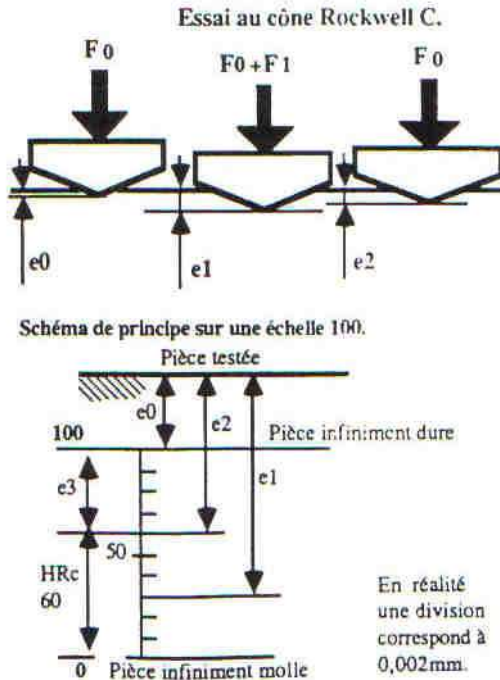
$$HB = \frac{F}{S} = \frac{2 \times F}{9.81 \times \pi \times D \times (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Avec S l'aire de la calotte sphérique imprimée dans le métal.

De plus, pour les aciers il existe une relation entre HB et R_m (en MPa) :

$$HB = 0.3R_m$$

- L'essai Rockwell : dureté HRC :



L'essai est réalisé avec un cône de diamant dont l'angle au sommet vaut 120° . On applique l'effort de précharge $F_0=98\text{N}$ qui provoque la pénétration e_0 , origine de la mesure (remettre le cadran à zéro). Puis on applique pendant 3 à 8sec l'effort de surcharge $F_1=1373\text{N}$ qui provoque la pénétration e_1 . Ensuite on supprime F_1 tout en conservant F_0 , il en résulte une pénétration e_2 . Enfin on peut lire l'accroissement rémanent : $e_3 = e_2 - e_0$. La dureté est le nombre de divisions e lu au cadran :

$$HRC = (100 - e)$$

Avec $e = e_3$ en $\text{mm}/0.002$

- L'essai Vickers : dureté HV :

Le principe est le même que l'essai Brinell mais le pénétrateur est une pyramide de diamant à base carrée, dont l'angle entre deux face vaut 136° .

On applique un effort de précharge $F=294\text{N}$ sur le pénétrateur pendant 10sec puis on mesure la diagonale d (en mm) de l'empreinte laissée dans la pièce. On obtient ainsi :

$$HV = \frac{0.189 \times F}{d^2}$$

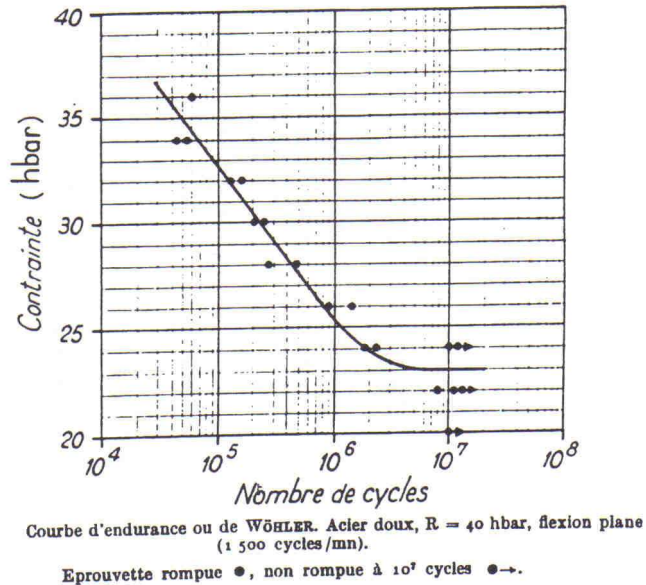
De plus il existe une relation entre HV et HB :

$$HB = 0.95 \times HV$$

L'essai d'endurance ou de fatigue

L'endurance est la propriété qu'a un matériau à résister à la fatigue c'est-à-dire à des contraintes périodiques.

On peut ainsi tracer la courbe de Wöhler :



On définit la limite d'endurance conventionnelle σ_D qui est la limite supérieure de la contrainte périodique qui peut être appliquée pendant un nombre conventionnel de cycles sans amener la rupture.

Les alliages fer-carbone

Le fer fond à la température de 1535°C.

Les composés fer-carbone

La cémentite ou carbure de fer a une teneur en carbone de 6.67%, elle est très dure (HB>800).

- Elle est primaire si elle est obtenue par cristallisation de la phase liquide.
- Elle est secondaire si elle est obtenue par recristallisation à l'état solide.

La ferrite est une solution solide de carbone dans le fer α (<768°C) et à une teneur en carbone de 0.05% à 723°C.

L'austénite est une solution solide de carbone dans le fer γ (de 1400°C à 1535°C) magnétique et sa teneur maximale en carbone vaut 1.7%.

La perlite est un agrégat de ferrite et cémentite, elle a une teneur en carbone de 0.85%.

La lédéburite a une teneur en carbone de 4.3%, elle est constituée de :

- Austénite et cémentite au dessus de 723°C.
- Perlite et cémentite secondaire en dessous de 723°C.

On peut les classer par ordre de dureté croissante :

Perlite < Austénite < Lédéburite < Cémentite

Les fontes

- La fonte blanche : fer + carbone + manganèse.
- La fonte grise : fer + carbone + silicium.

Le réseau cristallin obtenu peut être de la forme sphéroïdal ou lamellaire.

- Les fontes malléables : soit à cœur noir (américaine), soit à cœur gris (européenne).

La structure des aciers

- Acier hypoeutectoïde : la teneur en carbone est inférieure à 0.85%, il est composé de ferrite et de perlite.
- Acier eutectoïde : la teneur en carbone est de 0.85%, il est composé de perlite (structure lamellaire).
- Acier hypereutectoïde : la teneur en carbone est comprise entre 0.85% et 1.2%, il est composé de perlite et de cémentite.

Traitement thermique volumiques

La trempe

La trempe consiste à chauffer une pièce puis à la refroidir brusquement.

Les trois facteurs de trempe sont :

- La teneur en carbone qui conditionne l'augmentation possible de dureté.
- La température de trempe, elle doit permettre la formation d'austénite (la température doit être supérieure de 50°C par rapport au seuil de formation de l'austénite).
- La vitesse de trempe, le refroidissement doit être suffisamment rapide pour permettre l'augmentation de dureté. On définit ainsi V_{C1} et V_{C2} les vitesses critiques tel que pour
 - $V < V_{C1}$ il n'y a pas de modification de la dureté initiale.
 - $V > V_{C2}$ il n'y a pas modification de la dureté finale.

Ainsi le constituant caractéristique de la trempe est la martensite (c'est de l'austénite transformée grâce au refroidissement rapide du matériau).

De plus on peut classer par ordre de vitesse croissante les constituants formés grâce à la trempe :

Perlite < Troostite < Bainite < Martensite

La trempe est souvent suivie d'un revenu car il permet de détruire le reste d'austénite contenue dans le matériau.

La trempabilité est l'aptitude d'un acier à augmenter sa dureté par trempe.

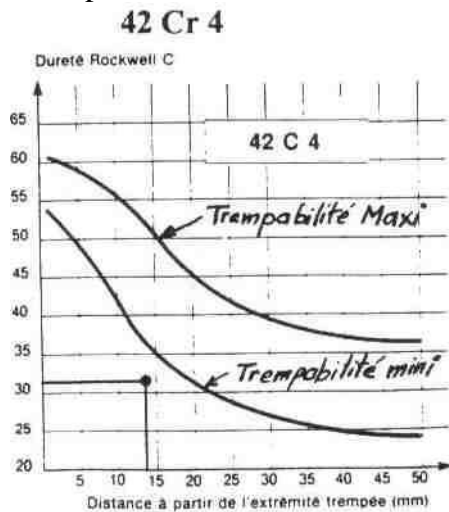
Certains aciers alliés sont tels qu'un refroidissement lent à l'air provoque la martensite : on dit qu'ils sont autotrempeants.

L'essai de trempabilité JOMINY

On chauffe une éprouvette cylindrique pendant 30 min, puis au plus tard 5 secondes après la sortie du four on arrose à l'eau froide l'extrémité pendant au moins 10 min on usine alors 2

méplats longitudinaux de 0.4 mm de profondeur puis on teste la dureté (HRC) le long de ces méplats.

Exemple de courbe obtenue :



Le revenu

On effectue un revenu immédiatement après la trempe sur les pièces complètement refroidies pour être certain que la transformation martensitique est terminée. En effet la structure martensitique créée lors de la trempe donne une certaine fragilité à la pièce.

Le revenu consiste à chauffer une pièce à une température inférieure à 723°C, on maintient cette température puis on refroidit.

L'influence du revenu est :

- D'abaisser la résistance à la traction R_m , la dureté HB, HRC.
- D'augmenter la résilience K, la ductilité A%.

Le revenu fait chuter considérablement la dureté d'une pièce, pour limiter ce phénomène il faut maintenir la température (environ une heure).

On peut aussi effectuer un revenu de détente qui a pour but d'éliminer les contraintes dues à la trempe, il s'effectue à une température comprise entre 100 et 200°C.

Le recuit

Le recuit permet d'annuler les effets de traitements thermiques ou mécaniques précédents.

Ainsi il existe des recuits d'homogénéisation, ils permettent d'éliminer les hétérogénéités chimiques. Le recuit à lieu de 950 à 1200°C puis est suivi par un refroidissement de 20 à 60°C par heure.

Mais aussi le recuit de normalisation a pour but d'affiner le grain d'une pièce qui a subi un maintien à haute température (moulage, forgeage...).

Enfin, le recuit de détente (ou stabilisation ou relaxation) permet d'éliminer les structures internes produites par le soudage ou la mise en forme. Il s'effectue entre 600 et 650°C suivi d'un refroidissement lent.

Traitement thermique surfacique

La trempe superficielle

La trempe superficielle permet d'obtenir une grande dureté en surface tout en conservant un bon allongement et une bonne ductilité du coeur de la pièce.

Pour effectuer une trempe il faut chauffer localement la surface d'une pièce en acier jusqu'à température d'austénitisation, puis on refroidit avec une vitesse suffisante pour obtenir une trempe (apparition de martensite).

La cémentation par le carbone

La cémentation est l'enrichissement de la couche superficielle (1 à 2 mm) de la pièce par le carbone afin d'obtenir après trempe une bonne résistance à l'usure et à la fatigue. La température de cémentation est de 920°C pour que la structure soit austénitique.

Mais pour effectuer une cémentation il faut :

- Effectuer un recuit avant.
- Effectuer une trempe juste après.
- Effectuer un revenu après la trempe.

Seules les pièces à cœur ductile, soit un pourcentage de carbone inférieur à 0.3%, peuvent être cémentées car il faut que l'élévation de la dureté et de la résistance des couches superficielles qui entraînent une fragilité importante soit compensées.

Par exemple les aciers non alliés (C10- C20), les aciers au CrMo (18CrMo4) ou les aciers au NiCr (20NiCr6).

Recuit → Cémentation → Trempe → Revenu

La nitruration

La nitruration est un traitement thermo-chimique de diffusion de l'azote atomique dans le fer α .

Elle permet :

- D'augmenter la dureté en surface.
- D'augmenter la résistance à l'usure et au grippage.
- D'augmenter la limite d'endurance.
- D'augmenter la résistance à la corrosion.

Elle a lieu à environ 500°C, sur une profondeur allant de quelques dizaines de microns (jusqu'à HV1300) à quelques dixièmes de millimètres (de HV400 à HV900).

Les différentes nitrurations sont :

- Nitruration gazeuse : la dureté est obtenue par formation de nitrure d'aluminium et de chrome sur la pièce.
- Nitruration liquide : la dureté est obtenue par formation de nitrure d'aluminium et de chrome sur la pièce.
- Nitruration ionique : la dureté est obtenue par formation de nitrure de fer et par diffusion de l'azote.

Les aciers de nitruration gazeuse ou liquide doivent contenir de l'aluminium ou du chrome (30CrMo12- 30CrAlMo6-12), pour la nitruration ionique tous les aciers sont compatibles.

Recuit → Trempe → Revenu → Nitruration

La carbonitruration

La carbonitruration consiste à cémenter simultanément l'acier par du carbone et de l'azote. Néanmoins elle est essentiellement une cémentation et non une nitruration.

L'azote permet de réduire la température de la cémentation (car diminution de la température de formation de l'austénite) donc économie d'énergie, ainsi elle a lieu entre 600 et 880°C.

Le durcissement de la couche carbonitrurée (0.1 mm) est obtenu par une trempe directe (on effectue la trempe directement à partir de la température de carbonitruration), ainsi la dureté atteint HV850.

Recuit → Carbonitruration → Trempe → Revenu

Désignation des alliages

Les matériaux ferreux

- Les fontes :

- Fonte blanche : EN-GJN suivi des symboles chimiques (éventuellement le pourcentage) dans l'ordre décroissant.

EN-GJN Cr12MoNi : fonte blanche avec 12% de chrome, du molybdène, du nickel.

- Fonte à graphite lamellaire : EN-GJL suivi de R_m en MPa.

EN-GJL 250

- Fonte à graphite sphéroïdal : EN-GJS suivi de R_m en MPa, un taret, allongement minimal en pourcentage.

EN-GJS 400-15

- Fonte austénitique : ce sont des fontes grises fortement alliées à graphite lamellaire ou sphéroïdal. Symbole EN-GJL ou EN-GJS suivi des symboles chimiques et de la teneur dans l'ordre décroissant.

EN-GJL Ni20Cr2 : fonte grise fortement alliée à graphite lamellaire avec 20% de nickel et 2% de chrome.

- Fonte malléable à cœur noir : EN-GJMB suivi de R_m en MPa, un taret, allongement minimal en pourcentage.

EN-GJMB 350-10

- Fonte malléable à cœur blanc : EN-GJMW suivi de R_m en MPa, un taret, allongement minimal en pourcentage.

EN-GJMW 400-5

▪ Les aciers

- Acier désigné par la caractéristique mécanique :

Acier de construction : S suivi de la limite minimale d'élasticité R_e en MPa.

S235

Acier de construction mécanique E suivi de la limite minimale d'élasticité R_e en MPa.

E295

La lettre G placé devant la désignation signifie que la pièce est moulée.

GE320 : acier de construction mécanique moulé de limite élastique minimale $R_e = 320$ MPa.

- Acier non allié : C suivi de 100 fois le pourcentage de carbone.

C45 : acier non allié avec 0.45% de carbone.

- Acier faiblement allié (< 5% de chaque élément) : 100 fois le pourcentage de carbone suivi des symboles chimiques dans l'ordre décroissant puis de la teneur des éléments multipliés par :

Elément	Facteur
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10
Ce, N, P, S	100
B	1000

35CrMo4 : Acier faiblement allié, 0.35% de carbone, 1% de chrome, trace de molybdène

40CrAlMo6-12 : Acier faiblement allié 0.4% de carbone, 1.5% de chrome, 1.2% d'aluminium, traces de molybdène.

45SiCrMo6 : acier faiblement allié, 0.45% de carbone, 1.5% de silicium, traces de chrome et de molybdène.

18NiCrMo6 : acier faiblement allié, 0.18% de carbone, 1.5% de nickel, traces de chrome et de molybdène.

10Ni8 : acier faiblement allié 0.1% de carbone, 2% de nickel.

G30Mn6 : Acier faiblement allié foulé, 0.3% de carbone, 1.5% de manganèse.

- Acier fortement allié (teneur d'au moins un élément > 5%) : X suivi de 100 fois le pourcentage de carbone suivi des symboles chimiques dans l'ordre décroissant puis de la teneur des éléments séparées par des tirets.

X2CrNi18-10 : acier fortement allié, 0.02% de carbone, 18% de chrome, 10% de nickel.

X30Cr13 : acier fortement allié, 0.3% de carbone, 13% de chrome.

X6CrNiMoTi17-12 : acier fortement allié 0.06% de carbone, 17% de chrome, 12% de nickel, traces de molybdène et de titane.

- Acier rapide : HS suivi de la teneur en tungstène (W), molybdène (Mo), de vanadium (V) et de cobalt (Co).

HS12-0-5-5 : acier rapide, 12%W, 0%Mo, 5%V, 5%Co.

Les matériaux non ferreux

- Alliage d'aluminium moulé

EN suivi d'un espace, la lettre A pour aluminium, la lettre C pour produit moulé, un tiret, Al suivi des symboles chimiques et de leur teneur dans l'ordre décroissant.

EN AC-AISi12 : Alliage d'aluminium moulé, 12% de silicium (ALPAX = alu et silicium).

EN AC-AICu4MgTi : Alliage d'aluminium moulé, 4% de cuivre, traces de magnésium et de titane.

EN AC-AIMg5 : Alliage d'aluminium moulé, 5% de magnésium.

- Aluminium non allié

Al suivi du pourcentage de pureté.

Al99.7 : aluminium à 99.7%.

- Alliage d'aluminium corroyé

Al suivi des symboles chimiques et de leur teneur dans l'ordre décroissant.

AlMg1SiCu : Aluminium, 1% de manganèse, traces de silicium et de cuivre.

AlCu4SiMg : Aluminium, 4% de cuivre, traces de silicium et de manganèse.

- Alliage de cuivre

Cu suivi des symboles chimiques et de leur teneur dans l'ordre décroissant.

CuSn9P : cuivre, 9% d'étain, traces de phosphore. (Bronze = cuivre et étain).

CuZn30 : cuivre, 30% de zinc (Laiton = cuivre et zinc).

Les matériaux frittés

F pour frittage et FJ pour frittage par infiltration suivi de :

- C pour acier non allié, puis espace, 100 fois pourcentage de carbone.
- Le symbole du constituant le plus important.

Puis un tiret, le symbole de l'élément d'addition de plus forte teneur et de sa teneur, un tiret et la masse volumique minimale (x10 en g/cm³).

FC 10-60 : fer à 0.10% de carbone ($\rho = 6 \text{ g/cm}^3$).

FC 15-U4-52 : fer 15% de carbone et 4% de cuivre ($\rho = 5.2 \text{ g/cm}^3$).

FU-E10-64 : bronze à 10% ($\rho = 6.4 \text{ g/cm}^3$).

FJ 40-U15-72 : Acier à 0.4% de carbone infiltré de 15% de cuivre ($\rho = 7.2 \text{ g/cm}^3$).

FU-E10Cg-58 : Bronze au graphite à 10% d'étain ($\rho = 5.8 \text{ g/cm}^3$).

FU-Z20Pb1-74 : Laiton à 20% de zinc, avec 1% de plomb ($\rho = 7.4 \text{ g/cm}^3$).