

PROPOS ORDINAIRES D'UN SOUDEUR SUR LES ALLIAGES METALLIQUES.

J.D. par Metjac. Juin 2006.

Nous vous proposons ces quelques données élémentaires de métallurgie qui s'adressent aux soudeurs (*toute personne mettant en œuvre le soudage ou le brasage, de près ou d'un peu plus loin*) afin qu'ils comprennent ce qu'est, avec sa personnalité et donc avec ses réactions possibles, la matière métallique qu'ils travaillent.

Dans ce texte beaucoup de choses sont dites, des impasses sont faites, rien n'est démontré.

Les avides de preuves, les gloutons d'équations scientifiques ou les friands de réactions chimiques complexes devront donc se tourner vers d'autres sources, d'autres écrits, d'autres livres, qui sont suffisamment abondants et suffisamment explicites pour les satisfaire.

Ici, en essayant d'être simple, nous bavardons entre amis hors des voies (et des voix) habituelles.

Ce qui ne veut pas dire que l'histoire contée, bien que très courte, passera sans effort.

La matière métallique.

Tout d'abord voyons comment s'organisent les atomes dans la matière métallique.

Atomes

Les atomes vibrent, plus ou moins selon la température, mais ils remuent toujours (*ce qui veut dire qu'il y a mouvement dans la matière à la température ambiante et même l'hiver !*).

Plus la température est élevée, plus leur mouvement est important ; ils ne trouvent le repos absolu qu'à très basse température : 0 °K soit – 273,15 °C.

Les atomes sont très libres dans l'état gazeux, ils sont pratiquement sans organisation dans l'état liquide mais quand la température baisse leur mouvement diminue et ils ont tendance à se "rapprocher les uns des autres" (*pour se mettre en rangs, comme dans la cour d'une école quand la récréation se termine... Enfin, c'était comme cela quand j'étais petit !*).

Réseau

Dans un métal pur liquide, à la température dite de solidification, des **germes** apparaissent. Un germe ce sont quelques atomes qui s'accrochent à une micro impureté ou quelques atomes suffisamment près les uns des autres pour s'attirer et commencer une organisation solide régulière, un **réseau**, que l'on appelle réseau cristallin ou encore **structure cristalline** (*distance entre deux atomes : 0.0000003 ou 0.0000004 mm*).

Pour prendre une image, un réseau est un grand échafaudage tubulaire (*les tubes sont virtuels, ils n'existent pas, mais faisons comme si ...*) où à chaque croisement des tubes verticaux et horizontaux il y a un atome.

(*On représente un réseau cristallin cubique si les distances horizontales et verticales entre les atomes sont égales entre-elles et les tubes à angle droit. Le plus petit volume trouvé dans l'espace, d'un atome à un autre, la **maille**, figure alors un cube. Il existe d'autres réseaux et d'autres motifs*).

Ces germes croissent et embellissent par empilement des atomes au fur et à mesure que la chaleur s'évacue. La température reste constante jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de liquide.

Grains

Ces constructions finissent par se gêner (*la liberté d'un individu s'arrête quand elle rencontre celle de ses voisins*) et les volumes solides ainsi créés forment des cristaux ou **grains** jointifs dont les limites se nomment tout naturellement les **joints de grains**. C'est la **structure granulaire** du métal.

Chaque grain a un réseau cristallin identique à celui du grain voisin, mais différemment orienté. C'est ce qui permet de les distinguer les uns des autres. Les joints des grains se trouvant être une région de compromis entre les orientations cristallines personnelles des grains.

	<p>Dans un volume donné, plus il y a de germes, plus les grains sont nombreux et petits et inversement. Le nombre de germes dépend, outre des micros impuretés présentes, de la vitesse de refroidissement.</p>
Formes des Grains	<p>Si la chaleur s'est écoulée dans toutes les directions d'une manière identique, les grains sont très régulièrement développés dans les trois directions, ils sont équiaxés. Si l'une des directions d'écoulement est privilégiée, les grains sont "allongés", basaltiques (on trouve cela en soudage où le métal liquide se déplace et la chaleur s'évacue par le métal de base).</p>
Défauts	<p>Les réseaux ne sont naturellement pas réguliers. Il y a des défauts de construction qui s'appellent des dislocations, quand il y a localement des atomes en trop, ou des lacunes quand il en manque. Dans les deux cas, il y a gêne et le réseau est localement un peu déformé et sous contraintes car les atomes "poussent" ou "tirent" pour être à une distance correcte les uns des autres.</p>
Diffusion	<p>N'oublions pas que les atomes vibrent. Cette instabilité permet des déplacements des atomes d'une place du réseau à une autre place. Ce déplacement s'appelle la diffusion. La diffusion est d'autant facilitée que les atomes bougent beaucoup (<i>température</i>) et qu'il y a des défauts de construction. Les atomes de la partie la mieux construite du réseau cherchent à expulser les atomes en trop vers des endroits plus accueillants qui ont ceux à moindre dislocations ou vers des lacunes où ils trouvent alors la place qui leur convient.</p>
	<p>Les joints des grains dont on a parlé ne sont en fait que des suites de dislocations et de lacunes qui assurent au mieux l'équilibre entre les réseaux des grains.</p>
Surchauffe	<p>Dans les cas où la température est maintenue élevée, proche de la fusion (<i>on dit en surchauffe</i>), les joints des grains vont "bouger". Il y a rectification des frontières et déplacement des joints par une espèce de "cannibalisation" des grains qui grossissent excessivement. Ceci est dû aux déplacements des atomes qui recherchent toujours une situation d'équilibre dans ces régions perturbées comme le sont les joints des grains.</p>
Propriétés	<p>Les propriétés mécaniques des métaux sont très dépendantes de la régularité du réseau, de la dimension et du nombre des grains.</p>
	<p>La déformabilité d'un grain dépend du sens d'application de l'effort par rapport au réseau qui l'a construit.</p>
Déformabilité	<p>Chaque effort appliqué au volume métallique total d'une pièce sera réparti dans chaque grain selon des directions plus ou moins en rapport avec l'orientation de leur réseau. Si les grains sont gros, il y aura un gros volume pour répondre sans trop de gêne à l'effort, même si les grains sont fortement désorientés les uns des autres ; ce qui n'est pas le cas d'une structure fine dans laquelle les déformations sont vite gênées par les joints. Un grain basaltique se déformera mieux, s'il est sollicité selon son grand axe que s'il l'est selon son petit axe.</p>
Structure	<p>La structure granulaire est visible au microscope (structure micrographique ou de détails) ou même à l'œil (structure macrographique ou d'ensemble). Les grains sont distingués les uns des autres lors de l'attaque métallographique. La corrosion due au réactif appliqué sur la coupe préparée est plus ou moins importante sur les grains selon leur orientation et les joints, objets de nombreux défauts, se corrodent rapidement. La lumière qui tombe sur cette surface se réfléchit sur tous ces petits miroirs : c'est ce que l'on appelle l'éclat orienté des grains.</p> <p>Un grain mesure généralement autour de 0.001mm à 1mm (mais j'en ai vu une fois de très gros : 5 cm x 10cm sur la coupe du métal examiné !).</p> <p><i>Notons en passant que le comportement chimique, tout comme le comportement mécanique du métal dépendent de l'orientation du réseau sous lequel il est sollicité. Ce qui déjà fait dire que, indépendamment de tout autre chose que l'on verra plus loin, le comportement d'un assemblage soudé sera différent, dans le métal fondu (dimensions et orientations des grains), dans les zones affectées (dimensions) et dans le métal de base (dimensions).</i></p>

Alliages.

Un alliages métallique est défini par :

- sa **composition chimique**,
- sa **constitution**,
- sa **structure**.

Ou bien, autrement dit et si l'on préfère :

- *qu'a-t-on mis dedans ?*
- *quel est le mélange obtenu ?*
- *comment est-ce organisé ?*

La composition chimique donne les quantités – les **teneurs** - des éléments chimiques (métaux purs et non métaux) qui sont présents. Si l'alliage comporte deux éléments, ce sera un alliage binaire, s'il en a trois, ce sera un alliage ternaire, etc ...

Eléments

En fait, un alliage comporte toujours de nombreux éléments ; c'est pourquoi on cite les **éléments principaux** (*qui assureront les classifications en binaires, ternaires, etc. Ex: le fer et le carbone – pour un acier*), et les éléments dont la présence est involontaire, les **impuretés**, généralement en faible quantité (*soufre, phosphore,...*).

On peut aussi trouver des éléments volontairement ajoutés (*chrome, nickel, manganèse, ...*) afin de modifier les caractéristiques (*mécaniques, chimiques, ...*) de l'alliage. Selon la quantité, on dit **éléments d'addition** dont les teneurs sont relativement faibles (0.5... 3 %), ou **éléments d'alliage** dont les teneurs sont fortes (8 à 40 % ... - mais inférieure à 50 % - devinez pourquoi !).

La constitution, dite physico-chimique, parce qu'elle informe sur les "individus", les petites parties réelles, visibles – les **phases** - que forment entre eux les éléments chimiques de la composition.

Phases

Au chauffage ou au refroidissement de l'alliage, pendant l'évolution de la température, des réactions chimiques ont lieu entre les éléments en présence. On étudie ces réactions au cours de variations très très lentes de la température afin qu'elles soient totales, c'est-à-dire que l'alliage soit en conditions d'équilibre.

L'ensemble des phases constatées est alors situé sur un **diagramme d'équilibre** (*une carte avec des lignes qui séparent les domaines dans lesquels on trouve les phases des équilibres chimiques. On dit aussi diagramme des phases*).

Diagrammes

Les diagrammes - prenons des diagrammes binaires – deux métaux : A et B - sont dessinés avec **deux variables** : la **composition chimique** (*horizontalement : A + B de 0 à 100 %*) et la **température** (*verticalement, de l'ambiante à la fusion*).

Pratiquement nous verrons, par exemple pour la verticale A + 10% B, quelles sont les phases présentes à l'échauffement (on passe d'un domaine à un autre en coupant, à telle ou telle température, les lignes séparatrices), de la température ambiante à la température de fusion ; ou bien au refroidissement depuis la fusion (ou de toutes autres températures intermédiaires atteintes à l'échauffement) jusqu'à l'ambiante.

Une phase, on dit aussi un **constituant**, peut être :

- une **solution liquide** c'est-à-dire un mélange homogène liquide de métaux liquides à température convenable (*on ne peut pas les distinguer les uns des autres*).

Constituant

- une **solution solide**, c'est-à-dire un mélange homogène solide de métaux solides (*là encore, on ne peut pas les distinguer les uns des autres*).

Solution
solide

Les métaux étant plus ou moins solubles entre eux, la solubilité peut être totale ou n'être que partielle. (*on fabrique une solution solide avec seulement une certaine quantité de soluté – le métal qui "entre" dans le métal solvant – et il y a un reste*). La solubilité dépend de la température, elle augmente si celle-ci augmente et inversement.

Composé défini	<p>La structure cristalline d'une solution se construit par le remplacement des atomes de l'élément principal (<i>solvant</i>) par des atomes de l'élément d'alliage (<i>soluté</i>). C'est ainsi s'ils sont "gros" par rapport à l'élément qui reçoit. On a alors une solution solide de substitution.</p> <p>Mais si les atomes de l'élément d'alliage sont "petits", ils se glissent dans les espaces entre les atomes de l'élément principal et la solution solide sera dite d'insertion.</p> <p>Dans les deux cas, comme pour les défauts de construction, il y a gêne et le réseau est un peu déformé et sous contraintes, les déformations seront plus difficiles que dans le métal pur ou que dans une solution de substitution.</p> <p>- un composé défini, c'est-à-dire une phase de composition chimique bien définie (<i>tant d'atomes de A avec tant d'atomes de B : A_xB_y</i>).</p>
Structure des alliages	<p>(Il conviendrait évidemment, en exemples ou en applications, d'approcher un peu quelques diagrammes, notamment le diagramme Fer-Carbone qui est le vieux copain du soudeur d'aciers. Seulement, il y a beaucoup à dire et ce n'est pas le seul à voir ! Un autre jour peut-être ?)</p> <p>La structure est l'arrangement des phases - des constituants - tel qu'on peut le constater dans le solide, par examen micrographique ou par examen macrographique.</p> <p>>>> <i>rappelons : structure micrographique donnant les détails fins, locaux, visibles au microscope ; structure macrographique donnant la disposition d'ensemble visible à l'oeil ou à la loupe.</i></p>
Noms des constituants	<p>Pour décrire une structure, micrographique ou macrographique, il est fait état des constituants présents selon leur nature dans l'aspect qu'ils présentent et avec leur localisation (<i>solution solide, composés aiguillés, globulaires, fins, dans les grains, en bandes,...</i>).</p> <p><i>Pour certains alliages, principalement les aciers, les constituants structuraux portent des noms.</i></p> <p><i>Ces noms peuvent être en rapport avec :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - leur état cristallin, la ferrite est la solution solide de fer alpha et de carbone, - leur propriété, la cémentite (caillou dur) est le composé défini par trois atomes de fer et un de carbone, - l'hommage rendu à une personnalité scientifique, l'austénite (Austen) est la solution solide de fer gamma et de carbone, la martensite (Martens) est une solution ferritique sursaturée en carbone. - l'aspect microscopique du constituant, la perlite (petite perle nacrée) est un mélange lamellaire de ferrite et cémentite donnant sous des grossissements modérés (100 à 200 fois) des reflets irisés. <p><i>Pour les constituants qui n'ont pas l'honneur de porter un nom particulier, on se contente de les désigner par leur nom ethnique : solution solide, précipité, ...</i></p>
Solidification d'un alliage	<p>A la solidification d'un alliage métallique (<i>binaire</i>), la phase solide, généralement une solution solide, se développe en grains, pour former la structure granulaire comme il a été dit.</p> <p>Si aucune variation de solubilité des éléments présents dans la solution solide formée n'existe pour les températures inférieures, la phase solide finale à la température ambiante est une solution solide de composition chimique identique à celle du liquide d'origine et la structure micrographique montre les grains originaux.</p> <p>S'il y a variation de solubilité (<i>représentée par une ligne oblique dans le diagramme</i>), la solution solide formée du liquide rejette au cours du refroidissement une deuxième phase.</p>

Précipitation	<p>La structure micrographique finale est alors formée des grains initiaux de la solution <u>dans</u> lesquels ou <u>autours</u> desquels la seconde phase aura précipité - sera apparue - (<u>précipitation intragranulaire</u> ou <u>inter granulaire</u>). Cette seconde phase peut être une autre solution solide mais elle est souvent un composé défini.</p>
Eutectique	<p>Notons qu'il est un cas où, pour une composition particulière du liquide, deux phases solides (ou plus pour un alliage autre que binaire) vont apparaissent simultanément ; elles forment ensemble chaque grain du solide. C'est ce que l'on appelle un <u>eutectique</u> (qui veut dire : qui fond bien - car de toutes les compositions, c'est celle de l'alliage qui a la plus basse température de fusion – ou de solidification).</p>
Eutectoïde	<p>Ce même phénomène peut aussi exister à l'état solide par transformation d'une solution solide de composition particulière, c'est alors un <u>eutectoïde</u> (qui veut dire : semblable à un eutectique).</p> <p><i>Par exemple, dans le cas des aciers et des fontes, la transformation d'une solution solide, l'austénite, donne un eutectoïde, la perlite qui est formée d'une solution solide, la ferrite, et d'un composé défini, la cémentite.</i></p>
Ségrégation	<p>L'état homogène que l'on est en droit d'attendre dans les grains formés à la solidification d'un alliage n'a, malheureusement pas toujours lieu. Comme dans toute société, il y a un phénomène qui rassemble plus facilement les individus de même nature. C'est la <u>ségrégation</u>.</p> <p>Au début de la solidification, ce sont les atomes du métal principal qui commencent le réseau cristallin dans lequel viennent se placer les atomes du métal d'alliage. Seulement ceux-ci préfèrent rester dans le liquide où ils sont plus libre que de s'installer dans le réseau rigide où d'ailleurs ils ne sont pas tellement bien reçu compte tenu de leur dimensions (et de leurs propriétés) différentes. Le solide formé est donc, au début, faiblement allié et le liquide s'enrichit en élément d'alliage.</p> <p>Dans chaque grain la composition chimique variera du centre du grain, pauvre en alliage au bord, plus riche vers les joints.</p> <p>La diffusion qui assure l'homogénéisation du solide est d'autant plus limitée que la solidification est rapide.</p>
Dendrites	<p>Généralement la ségrégation conduit à une construction particulière des grains, dans lesquelles l'ossature se développe selon des branches, des <u>dendrites</u> (ce qui veut dire : comme des arbres) qui croissent en multipliant leurs branches selon des directions perpendiculaires les unes aux autres.</p> <p>Ces dendrites sont bien mises en évidence par examen métallographique, le réactif utilisé n'ayant pas localement une même action dans tout le grain, puisque la composition chimique n'est pas homogène.</p> <p><i>Remarque :</i></p> <p><i>La ségrégation décrite ci-dessus à l'échelle du grain est la <u>ségrégation mineure</u>. La ségrégation se produisant tout également dans le volume de l'alliage "A"+"B", les premiers grains qui apparaissent sur les bords froids du moule sont moins chargés en élément "B" que les grains finaux situés au centre. C'est alors la <u>ségrégation majeure</u>. Elle est plus ou moins marquée selon les alliages considérés. Elle est particulièrement caricaturale dans le cas des aciers effervescents dans lesquels, carbone et impuretés, aidés par le violent brassage dû à l'oxydation, ségrègent fortement.</i></p>

Conséquences des traitements mécaniques et thermiques sur la structure des alliages.

	<p>Dans un métal ou un alliage soumis à un effort, le réseau cristallin va se déformer, cela a été dit.</p>
Elasticité	<p>Il se déforme peu pour un effort faible et quand l'effort est supprimé, le réseau retrouve sa forme initiale. Aucun atome n'a perdu sa place. Nous sommes dans un <u>état élastique</u>.</p>
Glissements	<p>En augmentant l'effort, à partir d'une certaine valeur de celui-ci, les dislocations vont se mettre en mouvement et les lacunes recevoir des atomes voisins. Des <u>glissements</u>, c'est-à-dire des déplacements d'atomes d'une place à une autre apparaissent pour suivre l'effort. En relâchant l'effort les atomes ne retrouvent pas leurs places initiales et il y a déformation permanente, la <u>limite d'élasticité</u> a été franchie, nous sommes dans le domaine plastique.</p>
Plasticité	<p><i>(Un peu comme une rangée de personnes se déplace dans une rangée de chaises en passant d'un siège à l'autre pour laisser s'asseoir une personne supplémentaire qui est debout à l'extrémité du rang. S'il y a une lacune, un siège vide, tout le monde est assis, sinon quelqu'un restera debout, là où il se trouve au moment où cessera le mouvement, c'est-à-dire l'effort. La dislocation se sera déplacée. Dans les deux cas, le rang n'est plus le même. (Faites donc ce même raisonnement dans toutes les directions – ensembles ou successivement - et vous aurez l'image de toutes les perturbations et de tous les arrangements que l'on pourra créer dans un métal malmené).</i></p>
	<p>N'oublions pas que le réseau cristallin d'un alliage est construit avec des atomes différents <i>(il y a des grosses personnes qui prennent beaucoup de place et des plus petites comme des enfants assis sur les genoux de leur parent)</i>. Le comportement de cette construction n'est pas assurément le même que pour une construction faite d'atomes de même nature.</p>
Diffusion	<p>Rappelons que les atomes vibrent. Cette instabilité permet des déplacements des atomes d'une place du réseau à une autre place, c'est la <u>diffusion</u>.</p> <p>La diffusion – il faut le redire - est donc d'autant facilitée que la température est élevée et qu'il existe des défauts dans le réseau <i>(localisations et contraintes)</i>.</p> <p>>>> <i>Remarque tardive : La diffusion peut avoir lieu à l'état solide entre deux phases ou également entre un liquide en contact avec un solide (bonjour le brasage !).</i></p>
Recuit	<p>Si les variations de températures au refroidissement du solide sont lentes, la diffusion conduit à l'état d'équilibre chimique des éléments présents : les phases sont ce qu'elles doivent être. Industriellement, c'est ce que l'on appelle l'état <u>recuit</u>.</p>
Trempe	<p>Si les variations de température sont rapides, la diffusion est gênée ou nulle, c'est un état hors d'équilibre ou <u>trempe</u>.</p> <p><i>(le qualificatif trempé rappelle le geste de mettre la pièce dans l'eau pour avoir un refroidissement rapide).</i></p>
Revenu	<p>Il vient à l'esprit que si l'on réchauffe un état trempé, la diffusion va agir et l'on va retourner vers un état d'autant plus près de l'état d'équilibre que la température sera élevée et le temps long. C'est ce que l'on appelle un état <u>revenu</u>.</p> <p><i>(Revenu pour indiquer ce retour vers l'équilibre).</i></p>
Coalescence	<p>Notons que la température choisie et la durée du revenu agissent fortement sur la quantité, la finesse et la localisation des précipités <i>(dans ou autour des grains)</i>. L'augmentation notable de ces deux paramètres, température et temps, conduit à un rassemblement de ces précipités. C'est la <u>coalescence</u>.</p>

Tout autant, partant d'un état recuit ou revenu, en montant suffisamment haut en température (*voir le diagramme d'équilibre de l'alliage pour la valeur à choisir*), l'état initial peut être totalement effacé et un état nouveau sera obtenu selon le mode de refroidissement choisi.

Incidence sur les propriétés.

L'état recuit.

Etat recuit

Pour beaucoup d'alliage, c'est un état « doux ». La nature et la disposition des phases présentes permettent une déformation facile lors d'une sollicitation.

C'est vrai pour les aciers non alliés et faiblement alliés.

Mais ce n'est pas exactement le cas de certains alliages d'aluminium qui restent « durs » car la disposition des phases précipitées dont la nature est « dure », gênent la déformation de la phase mère.

L'état trempé.

Etat trempé

C'est pour les aciers non ou faiblement alliés est un état « dur », d'autant plus dur que la teneur en carbone est élevée (*ce sont les atomes de carbone qui, ne sachant où se mettre, s'incèrent et déforment la structure cristalline du fer*). C'est donc une phase sursaturée unique et sous contrainte (la martensite) que l'on obtient. Cela gêne les déformations du matériau soumis à effort.

Par contre c'est l'état "doux" pour les aciers austénitiques au chrome-nickel à carbone modéré ainsi que pour certains alliages d'aluminium. Dans l'état trempé, la diffusion n'a pu avoir lieu et des phases dures n'ont pu naître, la déformation peut avoir lieu dans une solution solide homogène.

L'état revenu.

Etat revenu

C'est un état "doux" dans le cas des aciers trempés non ou faiblement alliés (-pas tous -). On "déverrouille" la structure par la précipitation des composés carbonés.

Ce peut être un état "dur" si les précipités gênent la déformation de la phase mère (*cas d'aciers faiblement alliés dits "à durcissement structural" ou d'alliages d'aluminium au cuivre*).

Mais si la coalescence intervient, elle diminue la gêne des précipités fins sur la déformation de la matrice, surtout si ces précipités avaient eu lieu dans celle-ci et non aux joints des grains. Il y a alors adoucissement.

Troublant et pas facile à suivre ? Ce n'est rien ! Cela veut tout simplement dire qu'il ne faut pas avoir d'idées préconçues et faire attention aux mots utilisés en essayant de voir quelles idées ils recouvrent. Continuons voulez-vous ?

Déformations.

Ecrouissage

Des efforts mécaniques élevés appliqués à une structure granulaire déforment les grains, les étirent ou les aplatissent car dans chacun d'eux la structure cristalline va suivre les efforts, nous l'avons vu.

Effectuée à froid, cette opération porte le nom d'**écrouissage**. Les grains restent déformés et sont le siège de contraintes car de très petites parties de la matière des grains n'ont pas trouvé exactement leur place et voudraient bien la retrouver. Elles se sont mutuellement gênées lors de la déformation. On a ainsi multiplié les dislocations et les lacunes. Les propriétés mécaniques sont modifiées : la limite d'élasticité et la résistance augmentent et l'allongement diminue.

Recristal-
lisation

En réchauffant cette structure écrouie, la diffusion, un peu facilitée par l'état contraint, va reconstituer un réseau plus régulier et des grains nouveaux apparaissent. C'est une **recristallisation** (*on dit aussi, improprement : recuit*). Les propriétés mécaniques évoluent en sens inverse, l'allongement augmente, la limite d'élasticité et la résistance diminuent.

Les propriétés (*il faut le redire*) sont aussi liées à la dimension des grains ainsi qu'à leur forme (*équiaxe, la déformation trouve toujours des plans favorables ; basaltique une direction se trouve privilégiée*). Dans un gros grain les glissements ont lieu sur de "grandes" distances et dans un volume important avant de rencontrer un joint qui les bloque. Les petits grains gênent donc les déformations par le faible volume dans lequel se produisent les déformations qui rencontrent rapidement les joints.

Si les sollicitations ont lieu à chaud, le réseau étant moins rigide, les déformations seront facilitées et la réorganisation dans les grains se produit conjointement, de même qu'il se produit une homogénéisation chimique par diffusion.

Corroyage

Ce **corroyage** oriente donc peu les grains et ne les durcit pas mais, malheureusement, l'homogénéisation est limitée car la déformation est plus rapide que la diffusion ; d'autant plus rapide que les parties les moins chargées en éléments d'alliage ou d'impuretés sont plus déformables.

La ségrégation des grains de solidification reste marquée, ce qui veut dire que les propriétés (découlant de la composition chimique locale) dans un même grain ne sont pas localement les mêmes.

Conséquences pour certains produits.

Différences
spatiales

Lors d'un corroyage, par exemple la fabrication d'une tôle, par conséquence de la ségrégation, la déformabilité des grains n'est pas la même partout. Les branches des dendrites tendent à s'écraiser et petit à petit à la faveur des opérations successives subies par le lingot et les autres demi-produits, des fibres puis des feuillets de composition chimique différente se produisent. La structure métallographique finale de cette tôle sur la coupe examinée, présente un aspect en rubans (*ou en bandes*) dont les couches, pour prendre l'exemple d'une tôle d'acier doux, sont formées, par de la ferrite pour les unes et de la perlite pour les autres (*Ce qui met en évidence la ségrégation du carbone*).

Cette illustration montre aussi que les caractéristiques de la tôle ne seront pas les mêmes, en long, en travers, ou dans le sens de l'épaisseur.

L'art du fabricant sera donc de rechercher l'harmonie de ce phénomène avec le travail auquel sera soumis le produit final dans la construction.

Il cherche à le conserver et bien l'orienter par forgeage dans le sens des sollicitations pour augmenter les performances.

Il s'efforce de l'effacer au mieux par des traitements mécaniques conduits dans tous les sens et couplés à des traitements thermiques d'homogénéisation si l'on doit solliciter finalement la tôle épaisse produite dans son sens de l'épaisseur (*ce qui peut être le cas en construction chaudronnée*).

Un produit avec une structure en bandes marquées est en fait deux alliages juxtaposés.

Un acier doux du genre est donc localement formé de bandes de ferrite (*pratiquement sans carbone*) et de bandes de perlite (*à 0,8 % de carbone*).

Variations
sur
les modes
opératoires

Si l'on soude ce produit à l'arc avec électrodes enrobées avec une forte énergie, il n'a en général pas de comportement particulier gênant car il s'est homogénéisé lors de l'échauffement.

Soudé par faisceau d'électrons, on constatera une trempe sévère dans les bandes chargées en carbone car la rapidité de l'opération n'a pas permis une bonne homogénéisation, il subsiste des différences et ces régions à haut carbone ont été refroidies tout aussi rapidement.

Quand au soudage au laser...on en arrive à souder alternativement un acier sans carbone puis un acier ultra dur... et pour peu que les grains soient gros ... Stop, je n'ajoute plus rien !!!

Finalement.

Juste encore une petite remarque complémentaire (!).

Le comportement des alliages est bien souvent évalué comme s'il s'agissait d'alliages binaires, malgré la présence d'impuretés et de résiduels. C'est pratiquement suffisant.

Mais dès que l'on ajoute des éléments d'addition ou d'alliage pour modifier les caractéristiques en service, il faut interpréter.

Tous les éléments n'ont pas le même comportement. Certains sont plus solubles dans une phase que dans une autre. D'autres aident à former plus facilement une phase qu'une autre et la stabilise au-delà de son domaine propre. L'état trempé est facilité.

L'interaction des éléments est aussi fonction de leur teneur.

Par exemple, dans un acier :

- un peu de chrome (0,5 ou 1%) le rend trempant, il est difficile à recuire.
- 18 à 20 % de chrome (avec peu de carbone) lui interdit toute transformation lors d'un traitement thermique et le maintient en structure ferritique.
- ajoutons à ce dernier 8 à 10 % de nickel, il ne se transforme pas plus, mais la structure est austénitique.
- avec un peu de molybdène en plus, il présente une structure biphasée ferrite + austénite dans laquelle le chrome est en grande partie dans la ferrite et le nickel dans l'austénite !

(Pour suivre ces propos, prenez d'abord un diagramme Fer-Carbone pour voir où se trouvent ces phases dans l'alliage de base qui n'a que du fer et du carbone, puis pardonnez l'usage de ces termes que nous n'avons pas expliqués, nous y viendrons peut-être un jour...).

Et encore ?

On voit aussi qu'un alliage n'est pas un produit monolithique inerte. Le banal "bout de tôle" que vous avez sous les doigts est la juxtaposition intime d'éléments qui ont chacun leur personnalité et se conduisent comme tels dans une société à l'image de notre société humaine où chacun veut mettre son grain de sel pour son plus grand intérêt.

Ces comportements ont lieu en tapinois, sans que vous vous en doutiez car masqués par l'aspect extérieur inchangé d'un métal roublard mais très sensible aux agaceries thermiques.

Il faudra donc en soudage avoir bien présent à la mémoire toutes ces particularités d'**un métal qui réagira de manières variées selon le procédé et le mode opératoire.**

Ces réactions sont à évaluer sérieusement car elles peuvent rendre difficile, voire impossible, la **réalisation satisfaisante d'un assemblage pour un service donné.** Ce qui est acceptable dans un cas peut très bien ne pas l'être dans un autre... même si la soudure est belle !

C'est tout ! (pour l'instant).

J.D. par Metjac/juin 2006

Reproduction totale ou partielle permise mais impérativement avec cette citation de source :
J.D. par Metjac/soudeur.com