

QUELQUES NOTES
SUR
L'EXPOSITION
ET LE
Congrès international des Ingénieurs
à GLASCOW en 1901

3^e ARTICLE (1)

[62(063)(4) + 62(064)(41)]

Le Fer et l'Acier.

La nomenclature de la métallographie.

La *métallographie*, dans le sens le plus général, a pour objet la description de la structure des métaux et de leurs alliages; on peut aussi dire que c'est la science qui s'occupe de la composition, de la constitution, de la structure et des propriétés physiques des métaux et de leurs alliages, sans comprendre la *métallurgie* qui est exclusivement l'art de les travailler.

Le baron Jüptner (Donawitz, Autriche) a donné le nom de *sidérologie* à la partie de cette nouvelle science qui concerne le fer et ses alliages.

Dans un premier article, nous avons fait connaître qu'un Comité, comprenant des savants des divers pays, avait été chargé par le Conseil de l'Institut du fer et de l'acier, d'élaborer le projet d'une nomenclature de la métallographie donnant les équivalents allemands, anglais et français des principaux termes employés dans cette nouvelle science.

(1) Voir *Annales des Mines de Belgique*, t. VI, p. 885 et t. VII, p. 83.

Nous sommes actuellement en mesure de donner plus de développements à cette importante question.

Nous n'entendons pas reproduire tous les termes du glossaire présenté au Congrès de Glasgow, mais un certain nombre d'entre eux dont il n'est plus permis, pour ainsi dire, d'ignorer la signification, si l'on veut pouvoir lire les publications modernes ayant trait à la constitution des métaux et de leurs alliages et notamment du fer et de l'acier.

Nous avons supprimé l'ordre alphabétique du glossaire pour examiner ensemble les termes qui ont entre eux certaines relations.

Différents états du fer pur.

Le terme α est employé pour désigner la condition normale du fer pur au-dessous de la température de 750 degrés C. Ce fer cristallise dans le système cubique.

Le terme β indique un état allotropique non magnétique du fer pur existant aux températures comprises entre 750 et 850° C. Le fer β est isomorphe avec le fer α et cristallise par suite dans le système cubique. Quand le fer β se change en fer α , il se produit un dégagement de chaleur et un développement des propriétés magnétiques.

La terme γ désigne une condition allotropique non magnétique du fer pur existant aux températures dépassant 850° C. Un tel fer cristallise dans le système cubique et ses formes cristallines sont des combinaisons du cube et de l'octaèdre (mais plus fréquemment de l'octaèdre) dérivé du cube. Par le passage du fer γ en fer β , il se produit un dégagement de chaleur.

Eléments et constituants du fer et l'acier.

En métallographie, on entend par *constituants* les parties constitutives des alliages et des substances métalliques. Des alliages contenant seulement deux ou plusieurs éléments ou composants peuvent contenir trois ou plus de constituants.

Le carbone est l'élément de beaucoup le plus important que l'on rencontre dans le fer et l'acier. Il a reçu divers noms.

On appelle d'abord *carbone du carbure* (Angl. *carbide carbon*; All. *Carbidkohle*), celui qui existe dans la « cémentite »; il est synonyme de carbone combiné.

On donne le nom de *carbone de recuit* (Angl. *carbon annealing*;

All. *Temperkohle*), au carbone finement divisé ayant les propriétés du graphite, qui se sépare de la fonte blanche et de certains aciers pendant le recuit prolongé, et, selon Ledebur, de l'acier à haute teneur en carbone quand il est porté à la chaleur rouge par un rapide martelage. Il est insoluble dans les acides dilués.

Le *graphite* (Angl. *graphite carbon*; All. *Graphit*), est le carbone qui se sépare des fers hautement carburés liquides, préalablement à la solidification et au point de cette dernière.

On entend par *missing Carbon* (Hogg), cette partie du carbone des aciers *tremvés* et *revenus* qui ne donne pas de couleur quand on dissout l'acier dans l'acide nitrique.

L'expression *carbone de trempe* (Angl. *hardening carbon*; All. *Haertungskohlenstoff*), désigne l'état du carbone quand il confère la dureté à l'acier, comme dans les aciers refroidis d'au-dessus le point *Ar*. C'est, comme le « carbone du carbure », du carbone combiné. Le baron Jüptner distingue trois variétés de carbone combiné : bi, tri et tétracarbonate.

L'*austénite* (1) est un terme qui désigne un constituant de l'acier plus doux et moins magnétique que la « martensite » avec laquelle elle est souvent associée. Elle se produit par l'immersion, dans de l'eau glacée, de petites pièces d'acier contenant plus de 1.5 % de carbone, portées à une température de 1100° C.

La structure d'un tel acier se développe par le polissage à l'aide d'une peau humidifiée avec une solution de nitrate ammoniac par exemple. L'austénite reste blanche, tandis que la martensite devient brune et affecte une forme en zig-zag. Par suite de son faible degré de dureté, elle est rayée, plus profondément que la martensite, par une aiguille promenée transversalement et, parce qu'elle ne paraît stable qu'aux plus hautes températures, le baron Jüptner a été conduit à la considérer comme une solution de carbone élémentaire ou de carbure de fer ionisé dans le fer.

Le terme *cémentite* a d'abord été appliqué par le professeur Howe, au carbure de fer à l'état séparé comme un constituant de l'acier.

Les recherches d'Abel, Müllèr, Osmond et autres montrent qu'il peut être représenté par la formule Fe^3C . Ce terme peut être néanmoins et a d'ailleurs été employé pour embrasser tous les carbures

(1) Angl. *austenite*; All. *Austenit*. Nous nous dispenserons désormais de donner les équivalents anglais et allemands, lorsqu'ils diffèrent aussi peu des termes français.

séparés dans la fonte et l'acier contenant du manganèse, du chrome, etc. Les carbures libres dans presque tous les métaux commerciaux et les aciers ne sont pas absolument composés de Fe^3C seul, mais sont des mélanges en union moléculaire avec Mn^3C . La cémentite peut exister en grains fins, en plaques minces ou en masses comparativement grandes dans l'acier. Selon Osmond, c'est le constituant le plus dur de l'acier, non colorable par le polissage et l'attaque par l'acide nitrique dilué, la solution d'iode, l'acide chlorhydrique dans l'alcool, etc.

Sauveur distingue la cémentite *ségréguée* et la cémentite *libre*; la première est un constituant de la « perlite », tandis que la dernière se rencontre indépendamment. Cette distinction fut notée par Sorby. Comme le terme *ségréguée* donne l'idée d'une séparation, il convient d'écartier ce mot et de lui substituer le terme de *perlite-cémentite*.

La *ferrite* est un terme employé par Howe pour désigner le fer pur. Il est maintenant employé pour désigner cette partie de l'acier ou du fer ne contenant aucun carbure ou tout au plus des traces dans la solution solide. Il désigne par conséquent le fer qui peut ou non contenir du silicium, du manganèse, du nickel, etc., lesquels forment des solutions solides ou des mélanges cristallisés isomorphes avec le fer.

La ferrite est le plus doux des constituants. Le caractère le plus certain est la rencontre de contours d'attaque cuboïdes consécutifs au traitement par l'acide nitrique ou le chlorure de cuivre et d'ammonium.

La *martensite* communique la structure caractéristique aux aciers trempés, polis et attaqués chimiquement. Ce constituant a l'apparence d'un système de fibres rectilignes, fréquemment disposées en forme de triangles.

Selon Osmond, la martensite correspond : 1° d'un point de vue physico-chimique, au taux maximum de fer allotropique et de carbone de trempe, qui peut être retenu par un refroidissement brusque de fers carburés dans lesquels le contenu en carbone des cristaux mélangés n'excède pas environ 1.10 % avant la trempe; 2° d'un point de vue mécanique, au maximum de dureté correspondant à un tel contenu en carbone. En pratique, la martensite est produite par la trempe de petits échantillons dans l'eau froide.

Arnold estime que ce terme devrait être employé pour l'acier trempé contenant la même quantité de carbone que la perlite. La composition de la martensite n'est pas bien définie. Le baron Jüptner

suppose que c'est une solution de carbure de fer dans le fer, tandis que Campbell lui donne comme composition Fe^8C^2 .

Le terme *perlite* (Ang. *pearlite*; All. *Perlit*) a d'abord été appliqué par le professeur Howe, comme synonyme du constituant *pearly* découvert par le D^r Sorby, de Sheffield. La perlite consiste en plaques alternantes de cémentite et de ferrite ou de sorbite, ou de grains de cémentite englobés dans la ferrite ou la sorbite.

Le baron Jüptner considère que la cémentite de la perlite se compose principalement du carbure $Fe^{12}C^4$, mais que la sorbite contient peut être Fe^8C^3 . Ceci correspond aux données de Campbell.

La *sorbite* est un constituant de l'acier qui est une transition entre la « troostite » et la perlite.

Jüptner croit que, selon toutes probabilités, c'est une solution de Fe^8C^3 dans le fer et que la sorbite peut être identique à la « troostite ».

Elle pourrait presque être appelée une *perlite non ségrégée*. Entre celle-ci et la troostite ou la sorbite, il n'existe aucune ligne de démarcation bien tranchée. La sorbite est obtenue irrégulièrement par un refroidissement suffisamment bas pour permettre à la transformation de se produire assez loin et d'une façon suffisamment rapide pour produire une séparation imparfaite de la ferrite et de la cémentite.

En pratique, ces conditions sont plus ou moins remplies par le refroidissement dans l'air de petits échantillons, par la trempe dans l'eau froide vers la fin de la récalescence, par la trempe dans le plomb fondu, par certaines *doublees trempes* ou par le recuit de la martensite à la couleur bleue.

Un autre constituant est la *troostite*; selon Osmond, elle est contenue dans les aciers de diverses teneurs en carbone en les trempant à diverses températures. Elle se révèle en polissant l'acier à l'aide d'une peau humidifiée avec une solution de nitrate ammonique; elle prend promptement une couleur brune par ce traitement. Elle est relativement plus tendre et plus rapidement attaquée par les acides que la martensite. Sa composition et sa structure moléculaire n'ont pas été déterminées.

Elle est facilement reconnaissable en attaquant par l'acide chlorhydrique (1 cc.) dans l'alcool (100 cc.). Elle se colore en noir, tandis que la martensite ne change absolument pas de couleur.

D'après M. Le Châtelier, c'est un constituant intermédiaire qui se produit par la transformation de la martensite en perlite et vice-versa. C'est très vraisemblablement une solution du carbure Fe^8C^3 dans le fer.

Eutectiques, solutions solides, etc.

Eutectique est un terme employé par Guthrie (1875) pour indiquer la liqueur-mère solidifiée. Tous les eutectiques ont un point de fusibilité en dessous de la moyenne de leurs constituants.

On fait également usage des expressions : alliage eutectique et mélange eutectique. Selon le baron Jüptner, on donne ce dernier nom à un eutectique après solidification et séparation en ses parties constituantes qui restent en micro-juxtaposition. On donne le nom d'acier *eutectique* à l'acier normal à 0.9 % de carbone; les aciers plus carburés sont désignés sous le nom d'*aciers hyper-eutectiques* et ceux dont la teneur est moindre sont des *aciers hypo-eutectiques*.

Le terme *solution solide* (Angl. *solid solution*; All. *Feste Lœsung*), a été employé dans le cas où, deux ou plusieurs métaux venant à se solidifier, un ou plusieurs de ces métaux fondus sont retenus dans les autres, à la manière d'une véritable solution liquide d'un sel dans l'autre. Il n'y a pas de séparation des constituants lorsque la solution fluide passe à l'état de solution solide. Cette dernière s'appelle aussi *solution congelée* (Angl. *congealed* ou *solidified solution*; All. *erstarrte Lœsung*).

Il convient aussi de définir l'expression *liqueur-mère* (Angl. *mother-liquor*; All. *Mutterlauge*). Pendant le progrès de la congélation de tout système comprenant plusieurs substances dans un état de solution, une partie de la solution reste à l'état fluide après que des cristaux solides s'en sont séparés; elle s'appelle « liqueur-mère ».

Une *phase* est définie comme une masse chimiquement ou physiquement homogène, ou comme une masse de concentration uniforme. L'état d'une phase est complètement déterminé, si la pression de la température en même temps que le potentiel chimique de ses composants sont connus. Ce terme a été parfaitement décrit et expliqué par M. Le Châtelier, dans son mémoire intitulé : *La loi des phases* (Revue générale des sciences, 10^e année, n^o 20, 1899.)

Dans la Chimie physique, on entend par *phase*, des particules homogènes que l'on rencontre dans un corps et qui sont séparées des autres parties de ce corps. Des exemples de phases se rencontrant dans l'acier sont la ferrite, la martensite et la cémentite, tandis que la perlite contient deux ou trois phases (ferrite, cémentite et sorbite).

Le terme *ségrégation* (All. *Ausscheidung* ou *Saigerung*) est appliqué aux parties plus fusibles des métaux et des alliages qui sont les

dernières à se congeler et sont entraînées dans certains centres locaux par le métal qui cristallise d'abord. On trouve généralement des ségrégations près du centre des moulages et elles sont plus prononcées dans les grandes masses que dans les petites.

L'*interpénétration* (All. *Durchdringung*) désigne l'infiltration de matières plus fusibles entre les faces cristallines. Il est possible que les effets nuisibles de la ségrégation sont dûs à ce que l'attraction entre deux faces cristallines est détruite par la pénétration de substances non résistantes, telles que le sulfure ou le phosphure de fer.

On désigne par *retassure* (Ang. *pipe*; All. *Lunker* ou *Schwundshohlraum*), la cavité formée dans la partie centrale d'un lingot.

Les *soufflures* (Ang. *blowholes*; All. *Blasenhohlräume*) sont de petites cavités, sphériques ou ellipsoïdales, trouvées dans des lingots de métaux fondus. Elles consistent en bulles de gaz qui n'ont pu s'échapper complètement avant que le métal ne devienne complètement solide.

Dans le but de développer la structure constitutionnelle et cristalline des métaux et des alliages, les surfaces polies sont soumises à l'action d'agents appropriés, tels que l'acide nitrique, l'iode, les acides sulfurique et chlorhydrique, etc.; cette action est désignée par le terme : *attaque chimique* (Ang. *etching*; All. *Aetzen*).

Courbes de refroidissement, points critiques, récalescence, etc.

On entend par *courbe de refroidissement* (Ang. *cooling curve*; All. *Abkühlungskurve*) une représentation schématique des changements thermiques qui se produisent quand les substances liquides ou solides se refroidissent et dans lesquelles le temps et la température sont coordonnés.

Les courbes de refroidissement peuvent être représentées de diverses manières : 1° en prenant comme coordonnées la température T et le temps t , depuis le commencement du refroidissement; la courbe ainsi obtenue se rapproche alors plus ou moins de la forme parabolique; 2° en prenant comme coordonnées la température du métal T et le temps nécessaire pour qu'il se refroidisse d'un nombre déterminé de degrés; cette courbe est exprimée par $\frac{dt}{dT}$; 3° en choisissant comme coordonnées la température et la différence entre le temps nécessaire,

pour le refroidissement du métal considéré, comparé avec celui nécessaire pour d'autres métaux; les courbes ainsi obtenues peuvent être appelées courbes de refroidissement différentiel.

Le terme *courbe de fusibilité* (Angl. *freezing point curve*; All. *Erstarrungspunktskurve* ou *Gefrierpunktskurve*), désigne une représentation schématique donnant l'ensemble d'une série complète de courbes de refroidissement de divers alliages comprenant deux ou plusieurs métaux ou substances métalliques, dont la température et la composition sont coordonnées. Une courbe montrant la relation entre ces deux éléments d'un système hétérogène dans lequel les phases présentes sont en équilibre avec chacune des autres s'appelle *courbe d'équilibre* (Angl. *equilibrium curve*; All. *Gleichgewichtskurve*).

On entend par *courbe d'échauffement* (Angl. *heating-curve*; All. *Erhitzungskurve*), la représentation schématique des changements thermiques que l'on rencontre quand les substances solides sont chauffées et que le temps et la température sont coordonnés.

Un *point critique* (Angl. *critical point*; All. *kritisch Punkt* ou *Haltepunkt*), est le point (ou la zone) auquel se produit un changement physique ou chimique, comme, lorsque pendant le refroidissement du fer pur ou de l'acier à partir de 900° C., un dégagement de chaleur indiquant un changement physique se manifeste aux points critiques Ar_3 et Ar_2 . Quand le changement ne se produit pas en un point fixe, mais s'étend sur plusieurs degrés, l'aire de changement s'appelle une *zone*.

Ces points *critiques* sont désignés par les lettres Ac_1 , Ac_2 , Ac_3 , etc., quand ils désignent des points d'inflexion dans les courbes d'échauffement du fer et de l'acier; on les désigne par les lettres Ar_1 , Ar_2 , Ar_3 , etc., quand ils s'appliquent aux courbes de refroidissement. Ces points ne se rencontrent pas aux mêmes températures quand la transformation se produit par échauffement ou par refroidissement. Par suite d'un retard auquel on donne le nom d'*hystérésis*, le point critique Ac se manifeste à une température légèrement supérieure à Ar ; dans les aciers, la différence entre ces deux températures peut atteindre et même dépasser 50° C.

Le terme *hystérésis*, qui est spécialement employé dans l'étude du magnétisme, est employé par le professeur Ewing, dans un sens plus général pour caractériser la dissipation de l'énergie que l'on rencontre dans tout cycle d'opérations.

Le terme *récalescence* s'emploie pour exprimer le phénomène du dégagement de chaleur interne qui se rencontre quand le fer ou l'acier se refroidit au passage des points critiques.

Dans les aciers au carbone, la récalescence se produit au refroidissement vers 650 à 700° C.; elle correspond à un changement parfaitement caractérisé dans la constitution moléculaire du métal; ce changement est accusé tant par des observations micrographiques que par des réactions chimiques.

En pratique, pour apprécier le changement en question, on trempe des aciers à une température plus élevée que celle de la récalescence et on les compare à d'autres qui ont été soit lentement refroidis, soit refroidis brusquement à partir d'une température inférieure à celle de la récalescence.

La connaissance des points critiques a donc une grande importance au point de vue de la trempe des aciers. Selon que la température à laquelle le métal a été porté est supérieure ou inférieure à celle d'un point critique, l'acier présentera deux états d'équilibre qui peuvent beaucoup différer, soit par suite d'une transformation de l'un des constituants, soit par suite d'un changement dans le groupement chimique, au moment du passage par le point critique.
