

Note on the carbon equivalent

1. Hardening in steel in the heat affected zone surrounding a weld bead is a function of the welding conditions. For example, for a given initial thickness and temperature, it is possible to trace a curve as shown in Fig. 1 - $H_{\max} = f(E)$ where $H_{\max}$ is the "maximum underbead hardness" and E is the energy input when making the weld bead. As is done with hardness penetration curves in the Jominy test, it is possible to read from this curve an absolute maximum hardness value H_{MA} (similar to quench hardness) and an energy input E_H associated with an arbitrary value H for hardness (similar to the Jominy distance).

2. The value for H_{MA} depends essentially on the carbon content of the steel; the value for E_H depends not only on carbon content, but also on the hardening capacity of the steel under the effect of the thermal cycle during welding, i.e. on elements other than carbon, such as manganese and silicon. This is the reason (Fig. 2) why steels 1 and 2, with the same carbon content but different hardenability, have different E_{H1} and E_{H2} values. Steel 2, which is more hardenable, requires a higher welding energy input than steel 1 to obtain the same maximum under-bead hardness H .

3. It is this need for a simultaneous limitation of the absolute maximum hardness in the hardened-under-bead condition and hardenability (expressed as welding energy input) which prompted a supplement to the carbon limitation clause containing further guidance regarding the "carbon equivalent" i.e. the number obtained by adding to the carbon content the contents of other elements, each of which is given a coefficient characterising the action of each element vis-à-vis hardening capacity (for example, $C + \frac{Mn}{a}$ for C-Mn steels).

4. Faced with a double limitation regarding maximum carbon and carbon equivalent, a limitation obviously to suit the condition regarding strength properties or yield point (elastic limit), steel makers supply qualities of steel with curves for weld hardening which lie between the two extreme curves C_1 and C_2 in Fig. 3, their spacing apart depending on the coefficients used in the formula. It will be seen that simultaneous fixing of maximum values for carbon and carbon equivalent amount to a definition of the band within which the weld hardening curve must pass.

5. When thus interpreted, the specification for carbon equivalent makes it possible to define, by means of the hardening value, the local behaviour of a certain category of steel as a result of welding and consequently, it can be used as a basis for defining classes or degrees of weldability. It has no other purpose and in particular, the practice of expressing such and such behaviour or such and such properties in a welded joint as a function of the carbon equivalent cannot be recommended.

6. The foregoing interpretation implies, apparently, that comparisons based on the carbon equivalent are only valid for comparable qualities of steel, for example, C or C-Mn steels. For these latter steels, the formula most used* is : $C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$ a formula which also seems valid for steels of this class containing small quantities of additions (e.g. steels with dispersoids such as Nb or V which do not seem to alter hardening capacity). The application of carbon equivalent formulae to more highly alloyed steels does not at present seem to be very well-founded, in particular for steels processed in a condition other than the normalised condition. Since it is a question of defining the degree of weldability of a product as a function of chemical composition, the introduction of thickness values into carbon equivalent formulae is not justified;

Document IIS/IIW-288-68 (ex doc. IX-555-67) drawn up by Commission IX "Behaviour of metals subjected to welding" but not committing the IIW as a whole.

* This formula takes into account the possible presence of residual elements which may affect weldability.

Note sur le carbone équivalent

1. Le durcissement d'un acier dans la zone thermiquement affectée qui entoure un cordon de soudure est fonction des conditions de soudage. Par exemple, pour une épaisseur et une température initiale données, on peut tracer une courbe comme celle de la fig. 1 $H_{\max} = f(E)$ où $H_{\max}$ est la "dureté maximale sous cordon" et E l'énergie mise en jeu lors de l'exécution de ce cordon. Comme on le fait avec les courbes de pénétration de trempe obtenues à l'essai Jominy, on peut lire sur cette courbe une dureté maximale absolue H_{MA} (analogue à la dureté de trempe) et une énergie E_H associée à une valeur arbitraire H de la dureté (analogue à la distance Jominy).

2. La valeur de H_{MA} dépend essentiellement de la teneur en carbone de l'acier; la valeur de E_H dépend, en plus de la teneur en carbone, du pouvoir trempant de l'acier sous l'effet du cycle thermique de soudage, c'est-à-dire des éléments autres que le carbone, tels que le manganèse et le silicium. C'est ainsi (fig. 2) que les aciers 1 et 2, de même teneur en carbone, mais de trempabilité différente, ont des valeurs E_{H1} et E_{H2} différentes. L'acier 2, qui est plus trempant, requiert une énergie de soudage plus élevée que l'acier 1, pour obtenir la même dureté maximale sous cordon H .

3. C'est précisément le souci de limiter simultanément la dureté maximale absolue à l'état trempé sous cordon et la trempabilité (exprimée en énergie de soudage) qui a conduit à compléter la clause de limitation du carbone par une autre indication concernant le "carbone équivalent" c'est-à-dire le nombre obtenu en

ajoutant à la teneur en carbone les teneurs en les autres éléments affectées chacune d'un coefficient caractérisant l'action de chaque élément vis-à-vis du pouvoir trempant (par exemple $C + \frac{Mn}{a}$ pour les aciers au C - Mn).

4. Mis en présence d'une double limitation concernant le carbone maximal et le carbone équivalent, évidemment, de la condition concernant la résistance ou la limite d'élasticité, l'aciériste fournit des nuances d'acier dont les courbes de durcissement par soudage s'établissent entre les deux courbes extrêmes C_1 et C_2 de la fig. 3, dont l'intervalle dépend des coefficients adoptés dans la formule. On voit que la fixation simultanée des maxima pour le carbone et le carbone équivalent revient à définir la bande dans laquelle doit passer la courbe de durcissement par soudage.

5. Ainsi comprise, la spécification du carbone équivalent permet de définir, par l'intermédiaire du durcissement, le comportement local d'une certaine catégorie d'aciers sous l'effet du soudage et, par suite, de servir de base à la définition de classes ou degrés de soudabilité. Elle n'a pas d'autre objet et, en particulier, on ne saurait recommander la pratique qui consiste à exprimer quantitativement tel ou tel comportement ou telle propriété d'un joint soudé en fonction du carbone équivalent.

6. L'interprétation qui précède implique, semble-t-il, que les comparaisons sur la base du carbone équivalent ne sont valables que pour des aciers de nuances comparables, par exemple aciers au C ou au C-Mn. Pour ces derniers, la formule la plus souvent utilisée* est $C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{15}$

Document IIS/IIW-288-68 (ex doc. IX-555-67) établi par la Commission IX "Comportement des métaux du point de vue du soudage" de l'IIS mais n'engageant pas la responsabilité de l'IIS dans son ensemble.

* Cette formule tient compte de la présence éventuelle des éléments résiduels qui peuvent affecter la soudabilité.

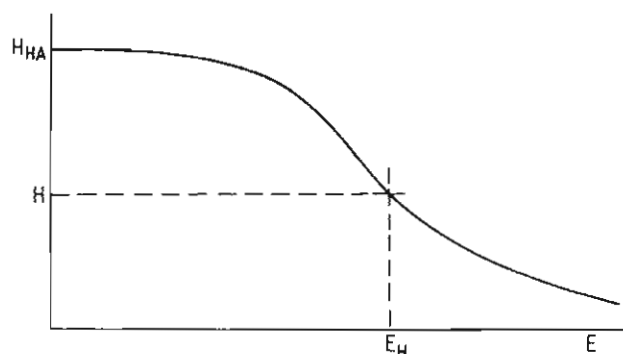


Fig. 1 - H_{max} : Maximum under-bead hardness
E : Linear welding energy input

H_{max} : dureté maximale sous cordon
E: apport d'énergie de soudage linéaire

it is better when selecting welding conditions for one carbon equivalent value to take thickness into account or else select carbon equivalent values compatible with thickness values or fixed welding conditions.

7. A practical assessment of the degree of weldability associated with a given carbon equivalent value can be made on the basis of maximum sub-weld hardness but, whatever the technical interest of this concept, there is no question here of a definition of the type of steel, but only an evaluation of its suitability for

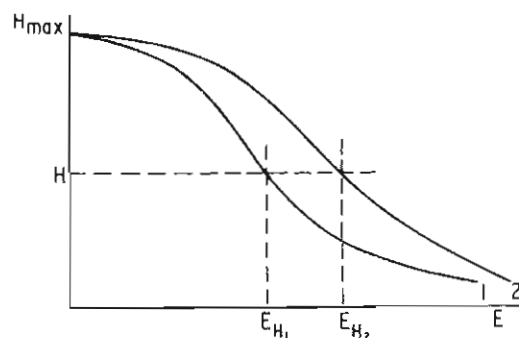


Fig. 2

processing. In particular, the acceptable maximum under-bead hardness will depend on the welding process, the conditions under which joints are stressed during and after welding, the hydrogen content in the metal deposited, etc.. In the present state of welding technology, the values to be used for the carbon equivalent should make it possible, by fixing an outside value for under-bead hardness, to select welding conditions (energy input, initial temperature) for a given steel and thickness, or to specify the type of steel which, for given welding conditions, can be used without a given under-bead hardness value being exceeded. Recommendations regarding welding procedure to be used as a function of carbon equivalent values are being studied by Commission IX.

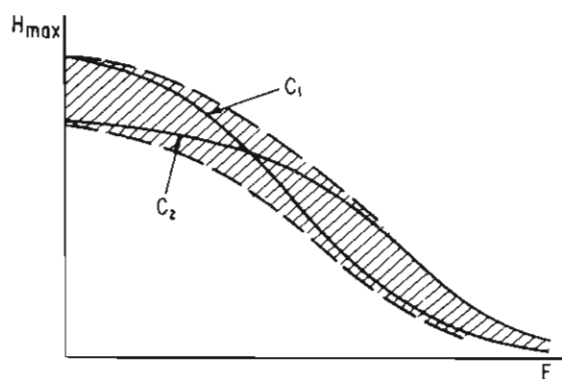


Fig. 3

formule qui semble aussi valable pour les aciers de cette classe comportant des éléments d'addition en faible quantité (aciers à dispersoïdes, par exemple Nb ou V) qui ne paraissent pas modifier le pouvoir trempant. L'application des formules de carbone équivalent à des aciers plus alliés ne semble pas actuellement très fondée, en particulier pour les aciers mis en oeuvre dans un état autre que l'état normalisé. Puisqu'il s'agit de définir le degré de soudabilité d'un produit en fonction de la composition chimique, l'introduction de l'épaisseur dans les formules de carbone équivalent n'est pas

justifiée; il vaut mieux tenir compte de l'épaisseur dans le choix des conditions de soudage pour une même valeur du carbone équivalent, ou bien choisir les valeurs du carbone équivalent compatibles avec des épaisseurs ou des conditions de soudage fixées.

7. L'appréciation pratique du degré de soudabilité associé à une valeur donnée du carbone équivalent peut se faire sur la base du critère de dureté maximale sous cordon. Mais, quel que soit l'intérêt technique de cette notion, il ne s'agit plus ici d'une définition de l'acier, mais d'une évaluation de ses possibilités de mise en oeuvre. En particulier, le choix de la dureté maximale sous cordon acceptable dépend du procédé de soudage, des conditions de sollicitation des joints pendant et après le soudage, de la teneur en hydrogène du métal déposé, etc.. En l'état actuel des techniques de soudage, les valeurs à retenir pour le carbone équivalent devraient permettre de choisir, en se fixant une valeur limite de la dureté sous cordon, les conditions de soudage (énergie, température initiale) pour la mise en oeuvre d'une nuance d'acier dans une épaisseur donnée, ou de spécifier la nuance d'acier qui, pour des conditions de soudage fixées, peut être mise en oeuvre sans que soit dépassée une valeur donnée de la dureté sous cordon. Des recommandations relatives aux modes opératoires à mettre en oeuvre en fonction des valeurs du carbone équivalent sont en cours d'étude au sein de la Commission IX.