

Etude de la structure duplex obtenue par trempe intercritique d'une tôle d'acier Sider

Said Boudebane *,
Samia Lemboub-Boudebane **

Résumé

Nous étudions la structure obtenue par trempe intercritique d'un acier à bas carbone pour emboutissage, produit par laminage à chaud. Grâce à la caractérisation de cette structure et à la détermination de ses propriétés mécaniques, nous tentons de connaître les possibilités de cet acier à former une structure dual-phase $\alpha + M(B)$ avec les caractéristiques spécifiques à ce type d'aciers. Il ressort de ce travail que la structure biphasée résultant de ce traitement dans le domaine intercritique $\alpha + \gamma$, évolue en fonction de la température de trempe. La fraction volumique de la phase dure, sa teneur en carbone, sa dureté, sa morphologie et sa dispersion changent et modifient par conséquent les caractéristiques de la tôle.

Le rapport Re/Rm , paramètre d'appréciation des aciers dual-phase, atteint sa valeur optimale, pour 33% de martensite dans la matrice ferritique, garantissant encore une emboutissabilité acceptable de la tôle.

Mots clés : Trempe intercritique, structure biphasée, phase dure, morphologie, dispersion, emboutissabilité.

Abstract

In this work we have studied the microstructure obtained by intercritical quenching at low carbon steel, produced by hot rolling. From the characterisation of this structure and the determination of its mechanical properties, we try to know steel possibilities to form a dual-phase microstructure $\alpha + M(B)$ with this type of steels specific characteristics of this type of steel. The results obtained from the present study show that microstructure resulting from quenching at the intercritical field $\alpha + \gamma$ which increase in function of the sustained phase, its grade in carbon, its hardness, its morphology and its dispersion change and modify mechanical characteristics of metal sheets.

The ratio Re / Rm , dual-phase steels appreciation parameter, reaches its optimum value for 33% of martensite in ferritical lattice, which improves an acceptable formability of steel sheets.

Key words : Intercritical quenching, dual-phase, morphology, dispersion, formability.

Introduction

Aciers duplex : Les aciers duplex ou « dual-phase », constituent un matériau aux caractéristiques mécaniques intéressantes lorsque l'on veut obtenir une bonne déformabilité, associée à une consolidation importante.

Ces aciers, dont les premiers développements datent de la fin des années 1970, trouvent leur application dans l'industrie automobile, où on recherche souvent, des hautes résistances mécaniques des emboutis pour permettre, soit un allègement par diminution de l'épaisseur, soit pour améliorer le comportement à la fatigue (roues, renforts, portières...).

Leur microstructure, schématiquement Ferrite + Martensite, mais en pratique, avec une certaine proportion de bainite et d'austénite résiduelle, peut être obtenue à partir de différentes gammes de production (fig.1).

Ils sont durcis par la présence de martensite (bainite), constituant supportant la charge, dans la matrice ferritique qui apporte la ductilité (1). La nature, la forme, les dimensions et la répartition de la phase dure conditionnent l'effet de consolidation de la matrice ductile (2).

A la base de la composition chimique de ces aciers, on retrouve les éléments suivants:

0,06-0,12 %C, 1,0-2,0 %Mn, 0,5-1,5 %Si.

Certaines compositions permettent, aussi le renforcement de la structure ferrito-martensitique (bainitique) par le durcissement par précipitation des éléments de micro-alliages (Ti, Nb...). Afin d'obtenir les propriétés visées, il faut avoir des précipités fins et cohérents en agissant sur la vitesse de refroidissement et sur la température de fin de précipitation (3).

Le traitement appliqué pour l'obtention de la structure ferrite + martensite, consiste en une austénitisation avec trempe rapide à partir d'un domaine $\alpha + \gamma$. La structure biphasée résulte soit d'un traitement classique, chauffage-maintien-refroidissement, soit est obtenue directement sur train à bande (1). Dans ce dernier cas, le refroidissement de la bande s'opère à la sortie de la dernière cage et exige une parfaite maîtrise des paramètres de laminage à chaud (laminage contrôlé).

Tabl. 1 Composition chimique moyenne de l'acier étudié

Acier	Composition (% massique)							
	C	Mn	Si	Al	Cr	Mo	S	P
Acier Sider	0,106	0,384	0,140	0,016	0,031	0,006	0,023	0,014

745 - 820 °C, sur des échantillons et éprouvettes découpés sur une bande préalablement laminée à chaud jusqu'à une épaisseur de 3 mm. La trempe consiste en un réchauffage, un maintien dans le domaine $\alpha + \gamma$, et un refroidissement à l'eau. Les observations au microscope métallographique ont permis, après polissage et attaque chimique au nital, d'étudier la structure de trempe. Grâce à l'analyse au microscope à balayage (MEB), nous avons pu révéler la morphologie de la phase dure de consolidation et suivre son évolution en fonction de la température de trempe.

La fraction volumique de la phase dure et sa teneur en carbone ont été calculées en considérant qu'à partir de AC1, toute l'austénite est transformable en martensite (% d'austénite résiduelle négligeable). Les mesures sélectives de microdureté ont montré les changements de l'état de la ferrite en fonction du développement de la morphologie de la martensite. Les propriétés mécaniques, sensibles à l'évolution qualitative (forme, dispersion) et quantitative (fraction volumique et teneur en carbone) de la phase dure, ont été appréciées par des essais de traction. L'aptitude à l'emboutissage des tôles a été évaluée par l'essai d'Ericksen.

Les constituants de ce type de structures se distinguent par les avantages suivants.

- La phase martensitique de consolidation est à la fois dure et tenace.

La zone de ferrite est largement exempte d'interstitiels et de précipités, les dislocations sont donc mobiles, d'où une forte ductilité. Il a été cependant prouvé, que la présence de la phase dure dans la matrice ferritique contribue à l'augmentation de la densité de ces dislocations libres(4).

- L'interface martensite-ferrite est fortement cohérente, ce qui renforce le rendement de charge de la ferrite à la martensite (1).

Procédure expérimentale

L'étude est réalisée sur un acier à bas carbone, d'épaisseur 3 mm, produit par laminage à chaud par Sider et destiné à l'emboutissage (tabl.1). Le traitement intercritique a été effectué dans l'intervalle de température

Résultats

Structure

La figure 2 représente la microstructure révélée après trempe intercritique à 745 °C, constituée d'une matrice ferritique (constituant claire) dans laquelle est dispersée une phase dure martensitique (constituant sombre). Grâce au faible grossissement utilisé (x 100), nous avons mis en évidence l'évolution de la dispersion de la phase dure avec l'augmentation de sa fraction volumique. Cette dernière passe, selon les valeurs calculées, de 22 % à 745°C à 67 % après trempe à 820°C (fig.3).

Sa teneur en carbone diminue, respectivement de 0,76 à 0,35 %, engendrant une baisse de sa dureté. L'élévation de la température de maintien, s'accompagne aussi d'une évolution de la morphologie de la phase de consolidation. Elle peut apparaître sous forme de colonies aux joints de grains, ou entourant partiellement ou complètement le grain ferritique, soit sous forme de grains entiers dans la structure (fig. 3).

Outre une évolution quantitative de la phase dure on observe sur les microstructures de trempe à différentes températures, une modification de la morphologie de la phase dure.

Pour mieux apprécier ces modifications, nous avons adopté des schémas illustrant les différentes étapes de son évolution selon la forme du grain résultant du processus de germination (fig.4).

Ces formes ont été bien mises en évidence par l'analyse au MEB (fig.5).

Ainsi, la structure révélée à 795 °C, présente une phase de consolidation dont le grain prédominant est semblable au schéma C (fig.4), contrairement à celle obtenue à 745 °C, caractérisée par une morphologie de la martensite répondant au schéma A. La trempe à partir d'une structure entièrement austénitique est sans intérêt, il en résulte une structure martensitique à bas carbone perdant les caractéristiques de plasticité nécessaires à la mise en forme de la tôle.

Propriétés mécaniques

Les résultats des essais de traction des éprouvettes traitées à différentes températures sont représentés par la figure 6. Il en ressort, que les caractéristiques de résistance enregistrées accusent une augmentation non négligeable. Ainsi, la résistance à la traction (R_m), passe de 500 MPa pour 745 °C à 580 MPa après trempe à 820 °C. La limite d'élasticité (Re) montre d'abord un minimum à 770 °C, pour croître ensuite dans le reste de l'intervalle de température considéré.

Aux valeurs minimales de Re , correspondent des valeurs maximales de l'allongement, traduisant une amélioration de la plasticité de la tôle, recherchée lors des différentes opérations de mise en oeuvre à froid.

Pour des fractions volumiques plus importantes de la martensite, l'allongement décroît et atteint sa valeur minimale à 820 °C. La tôle demeure emboutissable avec un indice d'Ericksen de 13 mm pour des températures de 745 et 770 °C, elle perd sa plasticité pour des températures plus élevées (fig.7).

Discussion

Tous les travaux réalisés sur les aciers dual-phase s'accordent sur l'importance du rapport Re/R_m . Le meilleur compromis consolidation - emboutissabilité est atteint pour des valeurs de l'ordre de 0,5 - 0,6, soit pour une fraction volumique de la phase de consolidation de 20 à 30 % (4).

Dans notre cas, la valeur de Re/R_m la plus proche de cet intervalle, est enregistrée après une trempe intercritique à 770 °C, correspondant à une fraction volumique de la phase dure de 33 %. L'allongement observé à cette température est maximal pour une limite d'élasticité (Re) minimale et une résistance à la traction améliorée (fig 6). La tôle possède donc une meilleure résistance à la traction en restant encore déformable.

On peut attribuer ce comportement de la tôle à ce qui suit :

1° - La présence de la phase dure dans la matrice ferritique, selon des proportions déterminées et répondant à une morphologie et une dispersion optimales, garantissent une amélioration de R_m .

2° - La matrice ferritique est également sensible à l'évolution quantitative (fraction volumique) et qualitative (morphologie) de la phase dure. La formation de cette phase s'accompagne de l'apparition de contraintes (par changement de volume) dans la ferrite et génère dans le grain de cette dernière, une densité de dislocations libres qui, en véhiculant sa déformation assurent une bonne aptitude à l'emboutissage de la tôle.

A notre avis, la densité de dislocations libres induites dans le grain ferritique par les îlots de martensite est étroitement liée à la morphologie de ces derniers. Lorsque la phase dure prend une morphologie semblable au schéma A (fig 4), la densité de dislocations est optimale, d'où une bonne plasticité de la ferrite. Si la martensite acquiert une morphologie identique aux schémas B et C (fig 4), il y aura une consolidation excessive de la matrice ferritique par suite de l'excès de dislocations et de leur interaction (ancrage). Le résultat est une chute de l'allongement avec une élévation importante de Re et R_m . La tôle n'est plus déformable sans risque de fissuration (cas des températures 795 et 820 °C).

Cette hypothèse a été confortée par les résultats des mesures sélectives de microdureté de la ferrite sur un même échantillon. Ainsi, la ferrite répondant à une morphologie de type A, accuse une microdureté (H10) de 60 à 130. Par contre, si elle est entourée d'îlots de la phase dure (schéma B, fig.4), sa microdureté atteint des valeurs de l'ordre de 140 à 380. Ceci confirme l'influence de la morphologie de la phase martensitique sur l'état de la ferrite et sur son aptitude à la déformation plastique.

Ces observations rejoignent les résultats des travaux de X. J. He et autres (2,5), d'où on retient que les cristaux de ferrite derrière les obstacles martensitiques (dans notre cas, grains de type B), ne subissent pas de déformation (consolidation et déformation hétérogène de la ferrite). Aussi, les aciers dual-phase à martensite grossière (développée, grains de type C), présentent un faible allongement avec un risque de rupture de la phase dure par clivage.

Fig. 5 Micrographies obtenues au microscope électronique à balayage des échantillons trempés à a- 745°C, b- 795°C

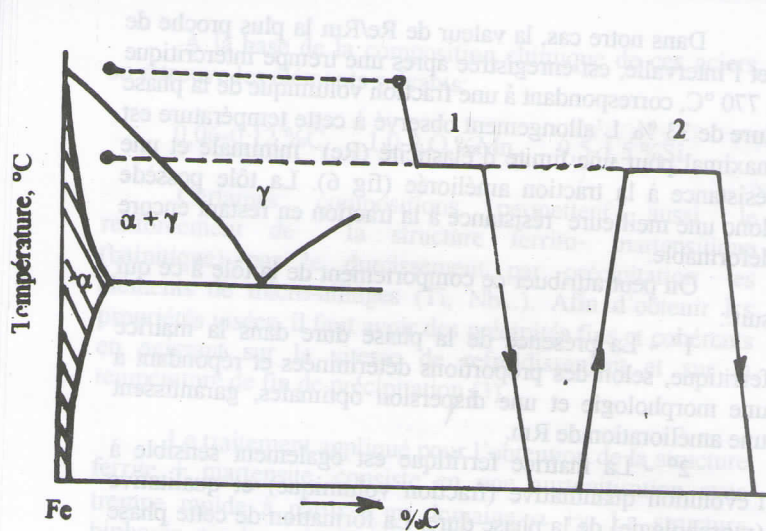


Fig 1 Obtention de structure dual-phase
a-Sur train à bande, b- Par réchauffage de la tôle



a)



b)

Fig 2 : Microstructures révélant la dispersion de la phase dure dans la matrice ferritique a- après trempe à 745°C, b- à 795°



a)



b)

Fig 3 : Détails de la structure biphasée a-après trempe à 745°C, b- à 795°

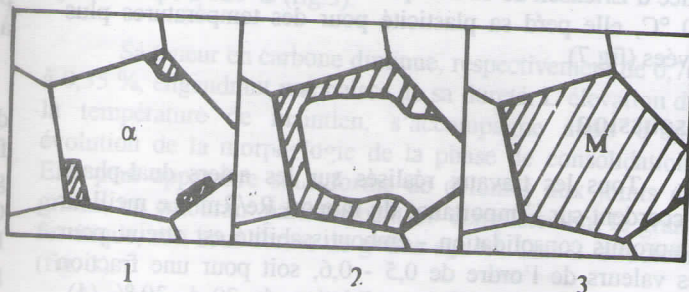
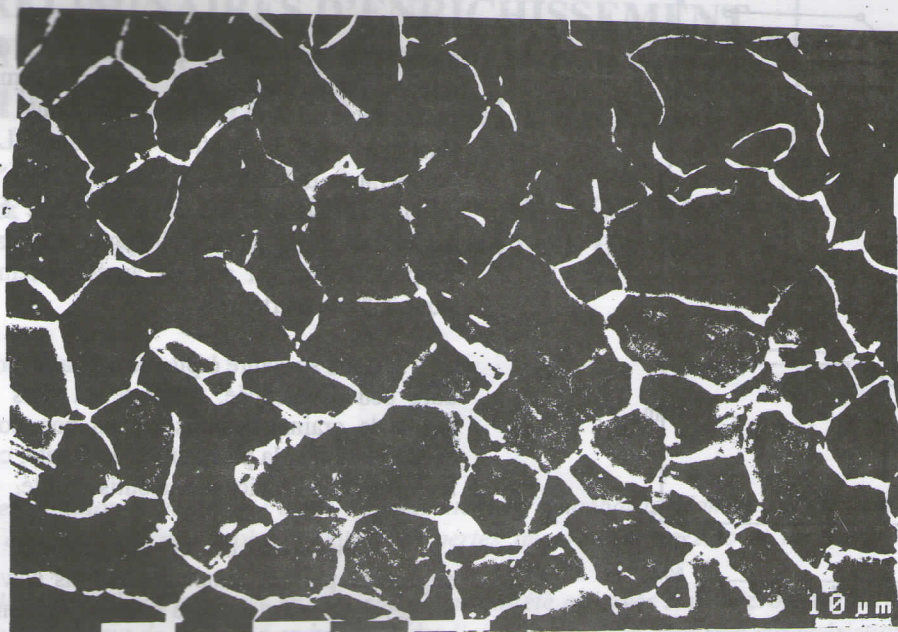
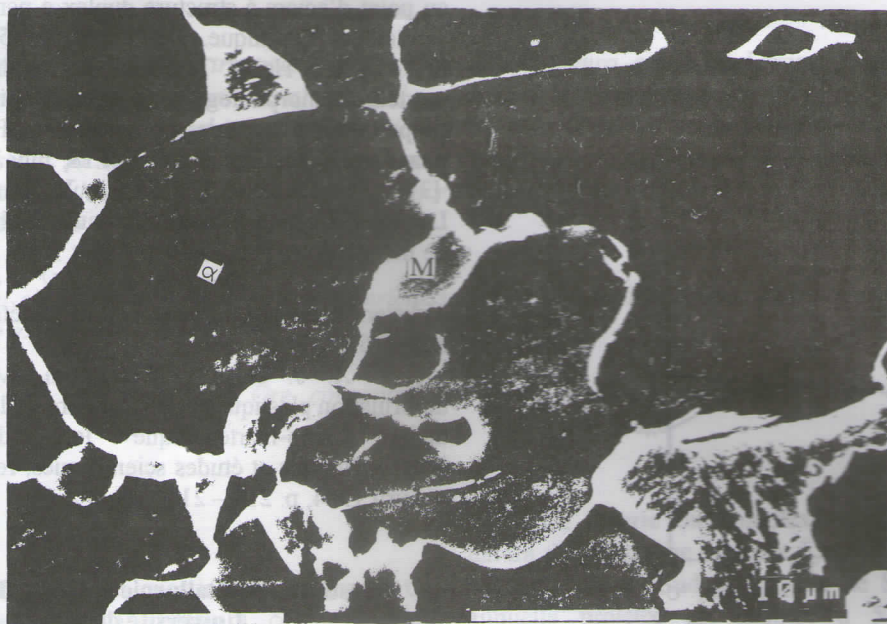


Fig 4: Illustration de la morphologie de la phase dure
1- Schéma A, 2 Schéma B, 3-Schéma C.



a)



b)

Fig : 5 Micrographies obtenues au microscope électronique à balayage des échantillons trempés à a- 745°C, b- 795°C

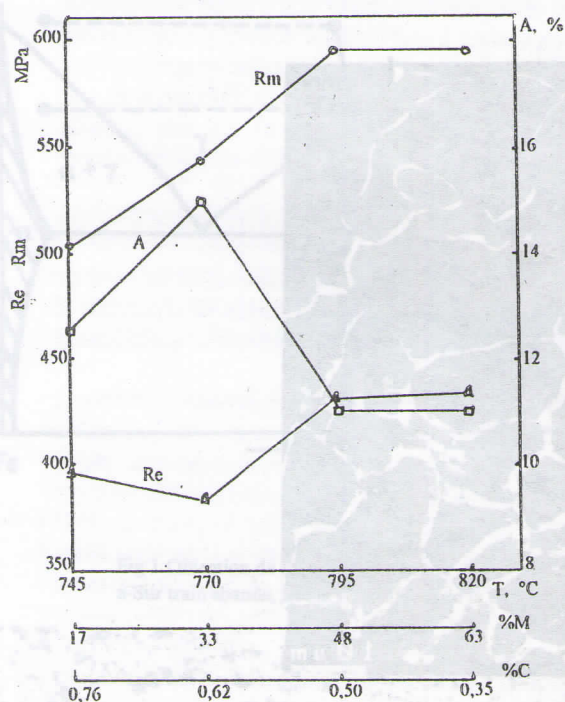


Fig. 6 : Evolution des caractéristiques mécaniques de la tôle en fonction de la température de trempe, de la fraction volumique de la martensite et de sa teneur en carbone

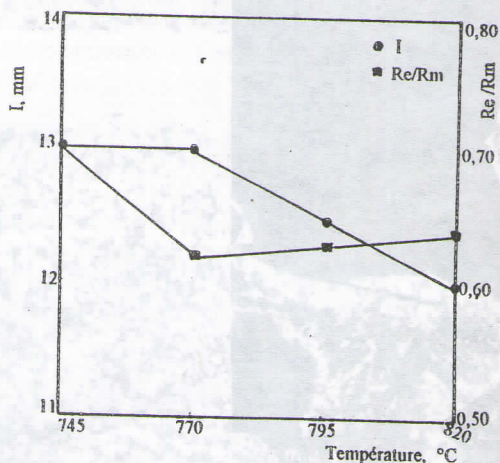


Fig. 7 : Influence de la température de trempe intercritique sur le rapport Re/Rm et sur l'indice d'emboutissabilité de la tôle ;

Conclusion

Les résultats de l'investigation de la structure biphasée de notre acier dans l'intervalle de température de trempe intercritique, ont montré l'importance de la morphologie de la phase dure dans le comportement plastique de la matrice ferritique. L'élévation de la température de trempe s'accompagne de l'augmentation de la fraction volumique de la phase dure et de changements appréciables de sa morphologie. La valeur optimale du rapport Re/Rm est atteinte après traitement à 770°C, soit pour 33% de martensite.

Cette structure biphasée est caractérisée par une phase dure peu développée, disposée en îlots isolés suivant les joints de grains, garantissant un bon compromis entre la consolidation et la plasticité de la ferrite, comme le montrent les valeurs de l'indice d'emboutissabilité.

L'évolution de la morphologie de la martensite engendrée par des températures plus élevées, se traduit par un développement intense suivant les joints de grains d'où, une consolidation excessive de la matrice, qui se déforme moins et d'une manière hétérogène.

Références

- [1] J. Koo, B. V. Narasimha Rao et G. Thomas. Mise au point d'aciers à structure duplex à performances élevées. Traitement Thermique. n° 141 1980, p. 45 - 49.
- [2] X. J. He, N. Terao and A. Berghezan. Influence of martensite morphology and its dispersion on mechanical properties and fracture mechanisms of Fe - Mn - C dual phase steels. Metal science - vol 18, July 1984, p. 367 - 374.
- [3] P. Teracher, G. Marron, X. Bano (Sollac, Fos). Les tôles à chaud à haute résistance emboutissables. Revue de métallurgie - C I T Juillet - Août 1995, p. 923 - 931.
- [4] M. I. Golstein, C. V. Gratchev, I. G. Veksler. Spetsialnié stali, Izdatelstva Metallourguia, 1985 p. 161 - 163.
- [5] X. J. He, A. Berghezan. Mécanismes de la déformation plastique et de la rupture de l'acier Duplex (type dual) ferrito-martensitique lors du laminage à 20°C. Mémoires et études scientifiques, revue de métallurgie - Avril 1984, p. 211 - 219.

* Institut de métallurgie et Génie des matériaux,
Université de Annaba

** Direction de la recherche Appliquée, Sider Annaba