

LA RÉSISTANCE À LA FATIGUE DES TÔLES OXYCOUPÉES

E. Piraprez

**Centre de Recherches Scientifiques et Techniques de l'Industrie des
Fabrications Métalliques, Section "Ponts et Charpentes",
Quai Banning, 6, B - 4000, Liege, Belgique*

ABSTRACT

When the size dressing of steel plates is carried out by thermal cut, the free edges present modified mechanical characteristics in comparison with those of the basis product. These modifications are particularly sensible in the case of AE 355 steel. They are due to the very severe heat treatment affecting the edge during and after the oxygen cut operation and provoking microstructural modifications in the surface and sub-surface regions, with a variable grade of carbon.

On the other hand, the non-homogeneous heat distribution during gas-cutting involves the creation of residual stresses that influence appreciably the fatigue strength or the stress value under whom instability phenomena appear.

A research has been undertaken to study with accuracy the behaviour of thermal-cut elements and, if possible, to perfect a method to improve their mechanical characteristics.

Many fatigue tests have shown that the ground edges have not a better behaviour than that of untreated edges. The scratches of grinding constitute rupture beginnings nearly as dangerous as the drag lines of cutting. But the shot peening of the gas-cut face allows to raise the fatigue strength of the considered pieces to a value between 30 and 35 N/mm², which is a higher value than that obtained by preheating the plate before cutting.

In what regards the fatigue strength, the shot peening allows then to rank the gas-cut elements in the best classes of welded connections.

INTRODUCTION

Lorsque la mise à dimension des tôles se fait par oxycoupage, les bords de ces tôles présentent des caractéristiques mécaniques modifiées par rapport à celles du produit de base, particulièrement dans le cas de l'acier de qualité AE 355.

Ces modifications sont dues au traitement thermique particulier que subit le bord oxycoupé et qui se traduit par la création de structures de trempe dont la teneur en carbone est variable. D'autre part, la répartition thermique non homogène lors de l'oxycoupage entraîne la création de contraintes résiduelles dont l'influence ne peut pas être négligée en ce qui concerne la résistance à la fatigue ou l'apparition

de certains phénomènes d'instabilité.

Jusqu'à présent, en Belgique, le traitement de ces surfaces est très onéreux, car la plupart des organismes de contrôle exigent le meulage de toute la face oxycoupée sur une profondeur de 1 mm, afin d'enlever toute la matière qui a subi des transformations métallographiques lors de la coupe. Aussi, une recherche a été entreprise dans le but d'étudier l'influence de ces modifications sur le comportement statique et en fatigue des pièces en acier AE 355 pour déterminer l'amélioration que le greillage apporte sur leurs caractéristiques mécaniques.

OXYCOUPAGE - GENERALITES

Description du Procédé [1]

L'oxycoupage est une technique qui permet de créer une saignée dans les pièces à découper, par déplacement continu d'une zone localisée de combustion du métal, dans un jet d'oxygène pur. Avant de pouvoir amorcer la réaction de combustion, il faut porter un point de la pièce, appelé point d'amorçage, à une température suffisamment élevée; la combustion est ensuite amorcée, en projetant de l'oxygène pur sur le point d'amorçage. Le jet d'oxygène projeté, à l'extérieur de la saignée, les scories résultant de la réaction.

Habituellement, on trouve, sur les faces de la saignée, des stries fines qui matérialisent le front de saignée en chaque point. La figure 1 schématise le principe du procédé.

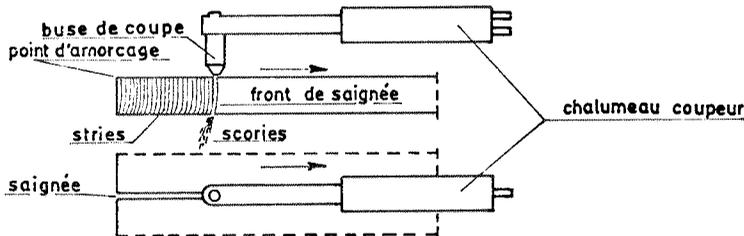


Fig. 1. Principe de l'oxycoupage.

L'utilisation pratique de l'oxycoupage est soumise à trois conditions :

- la réaction d'oxydation doit être exothermique et dégager une quantité de chaleur suffisante pour entretenir, avec l'aide de la flamme du chalumeau coupeur, la température nécessaire à la combustion vive sur le front de saignée;
- la température d'amorçage de la réaction de combustion doit être au plus égale à la température de fusion du métal des pièces à découper;
- la température de fusion des produits de la réaction de combustion doit être au plus égale à la température de fusion du métal des pièces à découper.

La régularité de la coupe dépend de ces deux dernières conditions ainsi que de la régularité du déplacement du chalumeau coupeur que seule l'automatisation permet d'assurer. La composition chimique du métal des pièces à découper joue également un rôle important dans la mise en oeuvre pratique de l'oxycoupage.

Caractéristiques des Bords oxycoupés

L'amorçage de l'oxycoupage nécessite une quantité de chaleur capable de porter une zone de la pièce à couper à des températures élevées, de l'ordre de 1350°C , correspondant au rouge blanc.

Lors du refroidissement, les bords oxycoupés sont le siège de transformations métallurgiques faisant apparaître des structures de trempe. Dans cette zone thermiquement affectée (HAZ), on y distingue généralement les structures schématisées aux Fig. 2 et 3 suivant que l'oxycoupage se fait avec ou sans préchauffage [2].

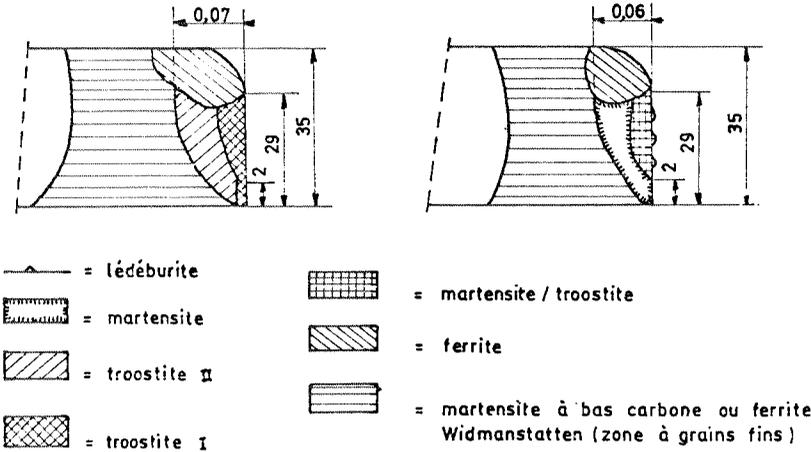


Fig. 2. Avec préchauffage.

Fig. 3. Sans préchauffage.

Structures de la zone thermiquement affectée par l'oxycoupage.

Outre ces transformations métallurgiques, on constate un accroissement de la concentration en carbone sur le bord de coupe dans une zone très étroite dont la profondeur est de l'ordre de $0,1\text{ mm}$. La dureté étant une fonction croissante de la teneur en carbone, on obtient dans cette première zone et donc, sur la face de coupe, des duretés très élevées. Cette augmentation de la teneur en carbone ne provient, ni de la flamme de coupe, ni de la diffusion du carbone vers les bords oxycoupés, mais du matériau qui a été brûlé dans la saignée. Toutefois, c'est seulement à partir d'une distance de $1,5\text{ mm}$ environ que la dureté commence à décroître (voir Fig. 4) pour atteindre la valeur du matériau de base à environ 3 mm du bord. De plus, la répartition thermique due à l'oxycoupage introduit un champ de contraintes résiduelles dans les pièces oxycoupées. La répartition de ces contraintes sur le bord oxycoupé ne semble pas avoir été définie actuellement, ni en signe, ni en valeur absolue. Les essais déjà effectués ne sont pas concluants, en ce sens que certains auteurs prétendent que des contraintes de compression apparaissent au bord de coupe, tandis que d'autres affirment que l'on peut trouver des contraintes résiduelles de traction.

Une autre caractéristique des bords oxycoupés est leur profil géométrique. Les bords oxycoupés présentent, en effet, un profil du type de celui schématisé sur la Fig. 1. Cette géométrie des entailles et les défauts occasionnels conditionnent principalement le niveau de résistance en fatigue des pièces oxycoupées.

La résistance à la rupture fragile est liée, pour une structure du bord de coupe donnée, à la profondeur et surtout à l'acuité des entailles.

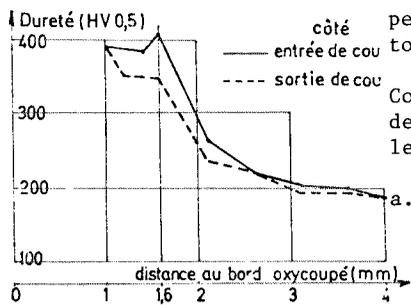


Fig. 4. Mesures de la dureté près de la face oxycoupée.

Les défauts sont généralement provoqués par un mauvais réglage du chalumeau ou par un arrêt de la coupe. Certains de ces défauts existent toujours et surtout au point d'amorçage de la coupe.

Compte tenu du traitement thermique d'oxycoupage et des caractéristiques géométriques du bord de coupe, les caractéristiques mécaniques modifiées sont :

- la résistance à la rupture fragile liée à la ductilité du matériau qui est, elle-même, influencée par la formation de structures de trempe et par l'augmentation de la teneur en carbone du bord oxycoupé;
- la résistance en fatigue influencée par les contraintes résiduelles, les entailles et la structure métallurgique de ce bord;
- la charge portante influencée par les contraintes résiduelles qui ont pris naissance sur le bord de la coupe.

Pour un matériau donné, la résistance à la rupture fragile dépend essentiellement de la réserve de ductilité après oxycoupage.

Cette réserve de ductilité est conditionnée par la nature des structures métallurgiques obtenues. Sur un bord oxycoupé, cette nature varie à partir du bord de la coupe; on y rencontre successivement :

- de la lédéburite;
- de la troostite I et II;
- de la martensite-troostite.

La figure 5 [2] donne, à titre d'exemple, la variation des teneurs en C, M_n et S_i depuis le bord de coupe.

La nature des structures métallurgiques obtenues dépend du traitement thermique subi par le bord oxycoupé de la pièce. Ce traitement est fonction de la quantité de chaleur apportée et de la vitesse de refroidissement. Ces deux paramètres principaux dépendent des conditions pratiques de l'oxycoupage, de l'épaisseur des pièces, de la nature du gaz de coupe, du type de buse employée, de la vitesse d'avancement, de la pression d'oxygène.

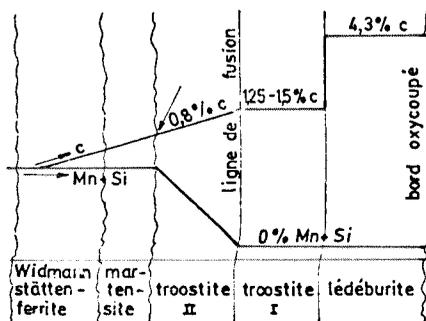


Fig. 5. Variation des teneurs en C, M_n et S_i depuis le bord de coupe.

L'influence de l'oxycoupage sur la résistance à la fatigue est l'objet principal de cette étude. Cette résistance dépend évidemment de la nature des structures métallurgiques obtenues. Elle dépend aussi du champ de contraintes résiduelles et de l'état de surface du bord qui se présente sous forme d'une succession de stries. On admet généralement que les variations de résistance en fatigue sont plus sensibles à l'acuité des entailles qu'à leur nombre ou leur profondeur.

PRELEVEMENT DES EPROUVETTES

Choix des Paramètres

Il apparaît qu'un très grand nombre de facteurs sont susceptibles d'influencer la qualité d'une surface oxycoupée. Dans le cadre de cette étude, il n'est évidemment pas possible d'étudier l'influence de ceux-ci dans toute la plage de leur variation et surtout de réaliser toutes les combinaisons possibles entre eux.

Les paramètres qui sont définis de manière assez précise par le fabricant d'appareils ou dont le réglage se fait aisément et sans erreur possible ont été fixés pour l'ensemble de la recherche; pour les autres, on a adopté les valeurs qui sont le plus souvent rencontrées en pratique :

- *nuance d'acier* : tôles en acier AE 355 avec une teneur en carbone proche de 0,18 %. Les éprouvettes sont toujours prélevées dans le sens du laminage.
- *épaisseur des tôles* : deux épaisseurs sont surtout prises en considération : 20 et 35 mm. Des essais complémentaires ont été exécutés avec des tôles de 12 et de 44 mm d'épaisseur.
- *température initiale de la tôle* : deux températures sont envisagées : 20° C et 100° C. Le préchauffage est réalisé au moyen d'un chalumeau précédant le bec coupeur.
- *traitement des faces après oxycoupage* : plusieurs états de finition sont étudiés:
 - état brut d'oxycoupage;
 - meulage léger (surface blanchie);
 - meulage jusqu'à élimination des stries (environ : 0,7 à 1 mm);
 - grenaillage.

Caractéristiques du Grenaillage

- grenailles : billes en acier de 1 mm de diamètre;
- temps de grenaillage : 1,5 minute;
- machine à grenailler comportant 6 turbines de 500 mm de diamètre, à la vitesse de 3.000 tours/min.;
- distance entre pièce et turbine : 1 m.

Afin de déceler une influence éventuelle de la nature de la grenaille sur les résultats des essais, certaines éprouvettes ont été grenillées avec des scories de cuivre tandis que d'autres ont été traitées dans des conditions très défavorables du point de vue de l'état de surface :

- grenailles : corindon à l'état neuf
- granulométrie: 1190 à 1410 μm (type 16-80);
- pression : 60 à 70 N/mm^2 .

RESULTATS DES ESSAIS

Etats de Surface

Des relevés d'états de surface ont été effectués sur des éprouvettes découpées dans les conditions envisagées. La figure 6 montre des relevés avant et après grenaillage. Il est évident que l'aspect général de la surface n'est pas modifié; les stries d'oxycoupage ont toujours la même profondeur. Par contre, il est possible que l'acuité des entailles soit réduite, ce qui n'apparaîtrait pas sur le

dessin, mais contribuerait à améliorer la résistance à la fatigue.

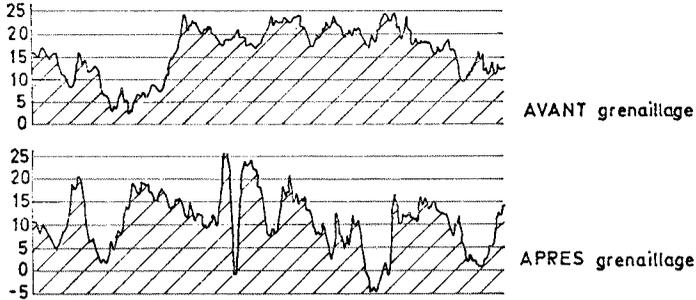


Fig. 6. Relevés d'états de surface.

Contraintes résiduelles

Sur les faces oxycoupées, le grenailage réduit les contraintes résiduelles (de traction) d'environ 100 N/mm^2 (voir Fig. 7).

Résistance à la Fatigue

La sévérité des entailles que présentent les bords oxycoupés et le niveau des contraintes résiduelles de traction mesurées sur ces bords nous ont amenés à envisager le dépouillement des résultats d'essais suivant la méthode utilisée lors d'essais de fatigue d'assemblages soudés non relaxés, pour lesquels la sévérité d'entaille et le niveau des contraintes résiduelles de traction sont assez analogues.

Cette méthode consiste à n'envisager que l'étendue de contrainte $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ pour caractériser les cycles de fatigue, sans plus se préoccuper du rapport de contrainte $R_s = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$. Les courbes de Wöhler ainsi obtenues sont tracées à la Fig. 8.

On a reporté sur cette Fig. les 4 résultats obtenus sur des éprouvettes grenailées à l'aide de corindon. Si l'on sait que les deux résultats les plus faibles sont relatifs à des ruptures qui se sont produites dans des sections où des défauts d'oxycoupage avaient été meulés et non où les faces oxycoupées étaient grenailées, on peut admettre que l'usage du corindon est aussi valable que celui des autres produits.

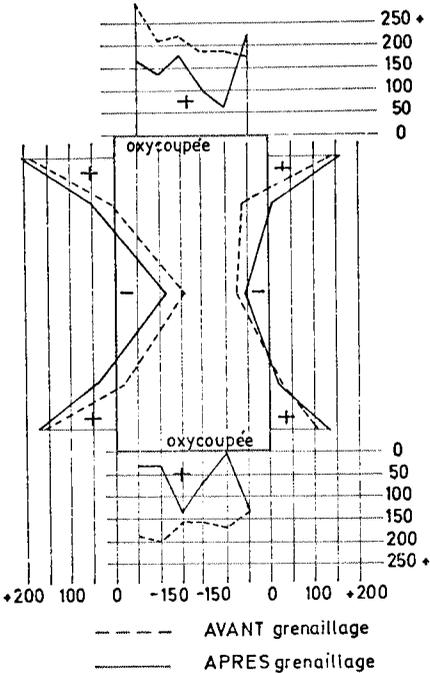
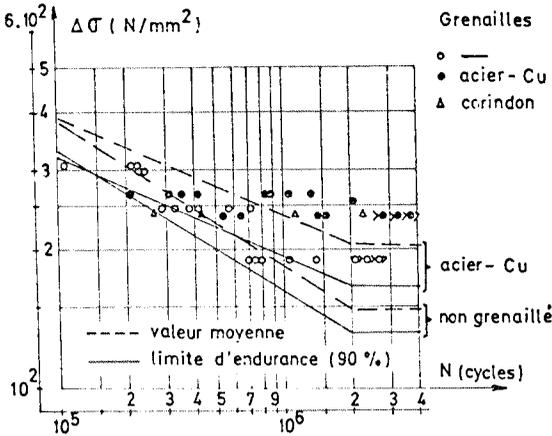


Fig. 7. Contraintes résiduelles (N/mm^2) - Traction positive.

CONCLUSIONS



Le grenailage de la face oxycoupée permet de relever la résistance à la fatigue des pièces considérées de l'ordre de 30 à 35 N/mm²; valeur qui est supérieure à celle obtenue en préchauffant la tôle avant le coupage. Tous les autres paramètres étant égaux, on a, par exemple, obtenu, pour les écarts de contraintes relatifs à des durées de vie supérieures à 2.10⁶ cycles, les valeurs caractéristiques à 90 % données au tableau suivant.

Fig. 8. Résultats des essais de fatigue.

Valeurs caractéristiques (90 %) des Ecart de Contraintes

T° avant la coupe	Etats de surface	Oxycoupage à l'état brut	Oxycoupage et grenailage
	20°C 100°C		132 158

Si l'on compare ces valeurs avec les assemblages soudés classés en fonction de leur résistance à la fatigue, on s'aperçoit que le grenailage permet d'obtenir des pièces oxycoupées dont la résistance est comparable aux meilleures classes de ces assemblages. Or, les constructions ne comportant pas de soudures sont très rares. On peut donc dire que, dans la plupart des cas, le grenailage permet l'utilisation de tôles oxycoupées sans nécessité d'opération particulière comme le préchauffage, par exemple, puisque très souvent, les pièces sont nettoyées après mise en forme et avant de recevoir une prépeinture.

REFERENCES

[1] Baus, R. et W. Chapeau. Application du soudage aux constructions. Sciences et Lettres, Liège.
 [2] Netherlands Institute of Welding - Working Group 1913. The properties of flame cut edges. Final report, (May 1973).