

Intérêt du revenu de détente en pignonnerie automobile

Le revenu de détente peut être utilisé pour la pignonnerie automobile. Il vise à minimiser les risques de fragilité des aciers traités.

Florence Le Strat,
Direction de l'Ingénierie
des Matériaux,
Renault SAS

Le revenu de détente est généralement réalisé à une température comprise entre 180° et 220°C. Il n'est appliqué qu'à une structure totalement martensitique. Le vocabulaire associé est détente, détensionnement, relaxation...

Les matériaux concernés par cette problématique sont les aciers de construction traités par voie thermochimique (carbonitruration, cémentation...) et de structure martensitique. La pignonnerie et les pièces de transmission sont des exemples d'applications.

INCIDENCE SUR LES CARACTÉRISTIQUES MÉTALLURGIQUES

Le revenu de détente ne fait intervenir que le premier stade du revenu des aciers. Il est habituel de décrire le revenu de la martensite d'un acier au carbone en trois stades : le premier entre 20 et 200 °C, le deuxième entre 200 et 300 °C et le troisième entre 300 et 450 °C.

À basse température (140-200 °C), l'effet principal du revenu est la précipitation des carbures de transition, par suite d'un appauvrissement sensible du carbone contenu dans la martensite. En effet, sous l'effet thermique, le carbone tend à abandonner les sites qu'il occupe dans la maille quadratique de la martensite.

Il ségrège vers les défauts du réseau. La maille perd alors son caractère quadratique. À partir de 120-140 °C, on commence à détecter une précipitation fine qui se fait sous la forme de carbures ϵ ($\text{Fe}_2,4\text{C}$) (figure 1).

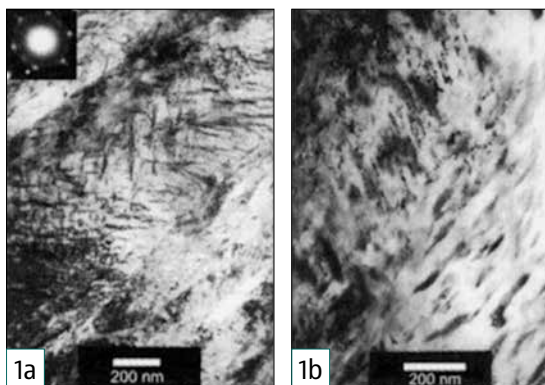


Figure 1
Micrographie en microscope électronique en transmission (TEM) d'un alliage 80MnCr5 : a) précipités ϵ pour un revenu de 200 °C -1 heure ; b) précipités de cémentite pour un revenu de 300 °C -1 heure (Résultats GT3-LGSM).

Des travaux récents (C. Aubry 1998, Y. Wang 2000) ont permis le développement d'une modélisation des cinétiques globales de transformation au cours du revenu (figure 2).

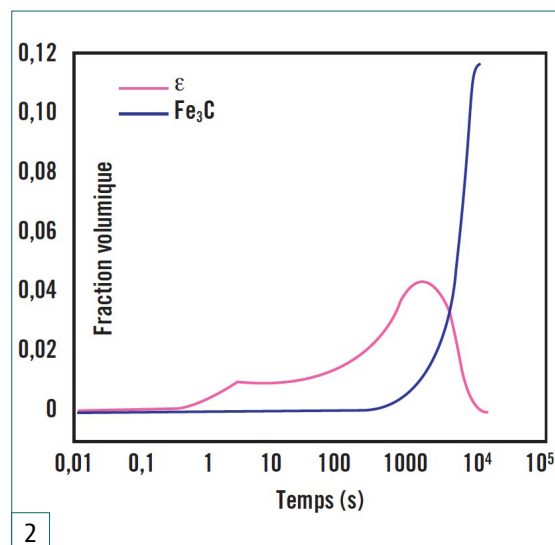


Figure 2
Simulation des cinétiques de précipitation du carbure ϵ et de la cémentite calculées pour un revenu à 200 °C. (Travaux de Wang et coll., 2004).

Ce processus de revenu est accompagné par une contraction volumique dont l'ampleur croît avec la température et la teneur en carbone initiale.

Il faut également noter que lors de la transformation martensitique à la trempe, les premières fractions de martensite formées séjournent à des températures suffisantes pour que les phénomènes décrits lors du premier stade du revenu se déroulent.

La martensite subit alors un auto-revenu, d'autant plus prononcé que le refroidissement est lent. Des caractérisations dilatométriques sur nuances 80MnCr5 et 27MnCr5 cémentés ont confirmé ce phénomène d'auto-revenu présent après trempe à l'huile chaude (140-160 °C).

Par contre, il n'existe pas pour les trempes au gaz, mais apparaît dans le cas de couches traitées avec des lois de refroidissement « cassées » vers des températures de 400 °C ou étagées (figure 3).

Cet article a été publié précédemment dans le n°377, daté de Mars 2007



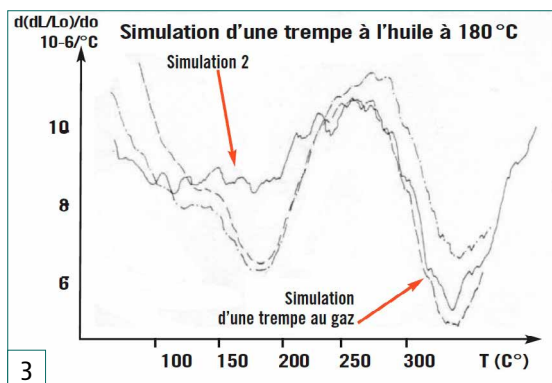


Figure 3

Comparaison des réponses dilatométriques de différents échantillons de revenu pour un acier 27MnCr5 avec carbonitruration (RENAULT – Thèse X.Duffourg, 1989).

INCIDENCE SUR LES CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

Un revenu de détente a plusieurs incidences sur les caractéristiques mécaniques. À commencer par une faible baisse de la dureté superficielle. La figure 4 nous montre l'évolution de la dureté superficielle (mesurée sous la surface et à faible charge), en fonction des températures de revenu.

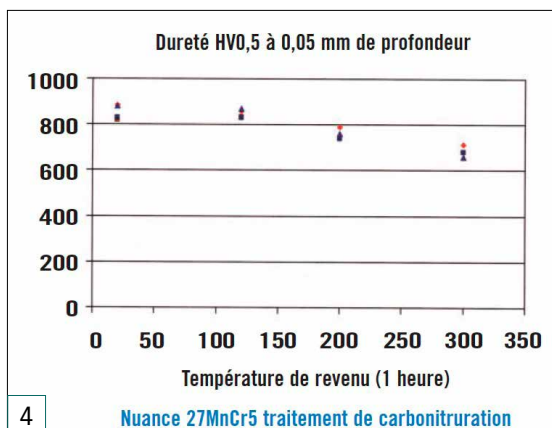


Figure 4

Évolution de la dureté de surface (Pointés Vickers sous 500 g à 50 µm de profondeur) en fonction de la température de revenu (Résultats RENAULT SAS-DIMat 1994).

Celle-ci n'est sensible qu'à partir de 200 °C. Aucune évolution sur la valeur de l'épaisseur de traitement E650 n'est observée pour ce domaine de température. Une amélioration de la résilience pour des températures de revenu ne dépassant pas 200 °C apparaît.

Cette amélioration est plus sensible après traitement de cémentation suivi d'une trempe à l'huile froide (figures 5 et 6) pour laquelle il n'y a pas de phénomène d'auto-revenu.

Il faut donc souligner l'importance de la loi de refroidissement adoptée pour l'opération de trempe. Cette dernière a une incidence directe sur la structure de la martensite, et donc sa fragilité.

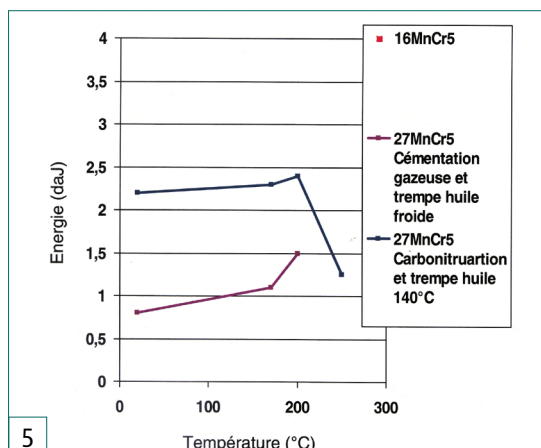


Figure 5

Évolution de la résilience en fonction de la température de revenu (Résultats RENAULT SAS-DIMat-1992).

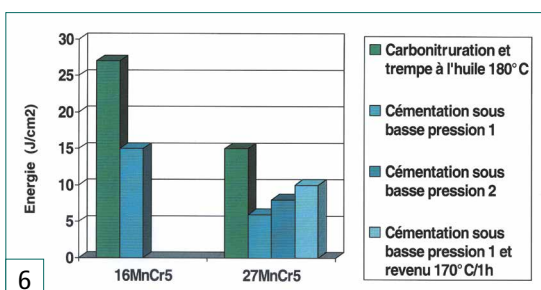


Figure 6

Valeurs de résilience-Comparaison des gammes de traitements thermochimiques pour deux nuances (Résultats RENAULT SAS-DIMat 2004).

Une très légère augmentation de la limite d'élasticité est observée. Ce phénomène d'accroissement de la limite d'élasticité peut être une des causes des difficultés de redressage après revenu. Une légère chute de la limite d'endurance en fatigue (figure 7) est relevée.

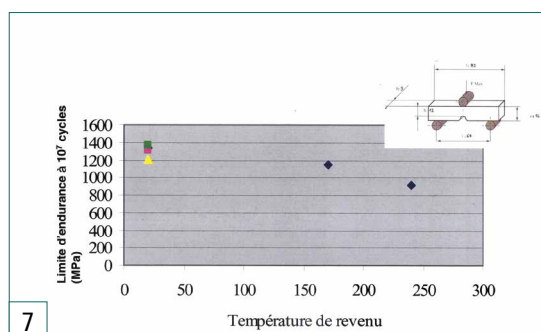
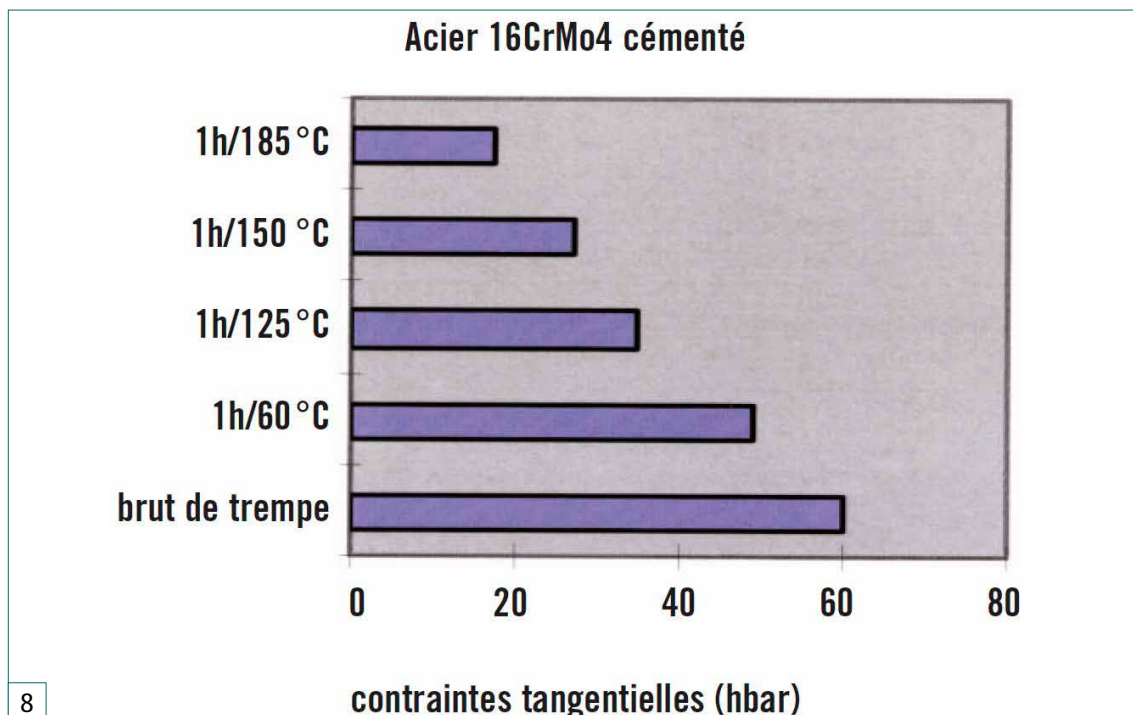


Figure 7

évolution de la limite d'endurance en fatigue (Éprouvette testée en flexion 3 points) (Résultat RENAULT SAS-DIMat 1992).

Des essais de flexion trois points sur éprouvettes entaillées (nuance 27MnCr5 avec carbonitruration pour E650=0.35 mm) montrent une évolution de 1 340 MPa (après trempe) à 1000 MPa (après 1h / 200 °C).

Figure 8
Évolution des
contraintes résiduelles
(Résultats RENAULT SAS-
DIMat 1985).



Le revenu de détente s'accompagne également d'une relaxation d'origine thermique des contraintes résiduelles introduites lors du traitement (**figure 8**).

CONCLUSION

En raison des données métallurgiques et mécaniques que nous venons d'aborder, le revenu de détente sera spécifié pour minimiser les risques de fragilité des aciers traités par voie thermochimique. Cette préconisation répond à un besoin fonctionnel précis et sera adapté aux nuances d'acier et aux gammes de traitements thermochimiques. Il n'est donc pas préconisé pour l'ensemble de la pignonnerie.

Les conséquences du revenu de détente ont été bien cernées, même si aucune donnée actuelle ne concerne l'influence sur la fatigue de surface. Toutefois, un point délicat demeure : il s'agit de l'absence de méthodologie d'analyses de la qualité du revenu de détente (en particulier sur la relation structures-qualité du traitement). En effet, à l'heure actuelle, seul un contre-revenu associé à une mesure de dureté permet de vérifier la qualité du revenu. Mais cette méthode ne s'applique

pas sur pièces finies, pour lesquelles les opérations de parachèvement comme le grenaillage d'ébavurage et de précontrainte perturbent les données. ■

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- A. Böttger, E. Mittemeijer, 1995, *Anfangsstdien des Anlassens Von FeC et FeN Martensiten : Strukturänderungen während Abkühlung and Alterung*, Traitement thermique, 279 (42-51).
- F. Da Costa, F. Le Strat, 1993, *Influence des fins de trempe après traitements thermochimiques*, Journées nationales ATTT.
- X. Duffourg, 1990, *Caractérisation structurale des pignons bruts de carbonituration : influence d'un revenu à 120 °C*, Contrat Regienov/Cephyten (90-16).
- S. Nagakura et coll., 1982, *Tempering Mechanism of martensitic carbon Steel-Recent studies*, ISIJ (21-30).
- Y. Wang, S. Denis, B. Appolaire, P. Archambault, 2004, *Modelling of precipitation of carbides during tempering of mertensite*, J. Phys. IV, 120 (103-110).