

Importance de la vitesse de trempe en traitement thermique: théorie et cas pratique

UMONS
Fabienne Delaunois

Lorsqu'on refroidit une pièce en acier jusqu'à la température ambiante, la vitesse de refroidissement va influencer les transformations structurales qui peuvent se produire. L'acier, au départ complètement austénitique à haute température (supérieure à A_{c3}), passe alors par différentes transformations structurales suivant la vitesse de refroidissement choisie. Lors de la réalisation d'un traitement thermique de trempe (ou hypertrempe), la vitesse de refroidissement de l'acier est telle que la structure obtenue à température ambiante est martensitique. Cette structure hors-équilibre présente des propriétés mécaniques remarquables telles qu'une limite élastique, une résistance à la traction et une dureté élevées, ainsi qu'une résistance à l'usure élevée. Par contre, sa ductilité, et donc sa ténacité (qui est la capacité du matériau à résister à la propagation brutale de fissures, exprimée en Joules), sont trop faibles pour garantir une utilisation de la pièce sans risque de fissuration. Par conséquent, consécutivement au traitement de trempe, un traitement thermique de revenu est appliqué à la pièce. Suivant la température de revenu choisie et la durée du traitement thermique, la pièce voit ainsi sa ténacité augmentée. La structure obtenue est alors une martensite dite « revenue » qui, si le traitement est réalisé à haute température (mais toujours inférieure à A_{c1}), peut présenter les phases d'équilibre ferrite et cémentite sous forme d'un constituant métallographique appelé « sorbite ».

Pour les orienter dans le choix de la température de revenu adéquate, les ingénieurs ont à leur disposition des « courbes de revenu » qui présentent l'évolution des propriétés mécaniques (généralement la dureté) en fonction de la température de revenu, pour une durée de traitement thermique imposée (généralement entre 30 minutes et 2 heures) (Figure 1). Ainsi, par exemple, pour un acier X210Cr12 austénitisé à 1000°C et trempé à l'huile,

un traitement de revenu de 1h à 450°C permet d'obtenir une dureté d'environ 58 HRC (Figure 2).

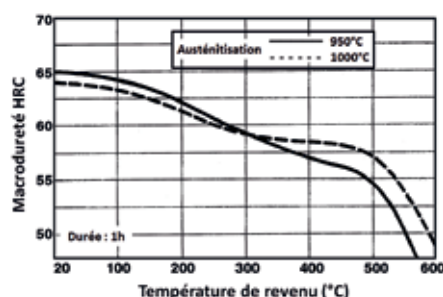


Figure 1: Courbes de revenu d'un acier X210Cr12 après austénitisation à 950 ou 1000°C suivie d'une trempe à l'huile (durée du traitement de revenu: 1h)

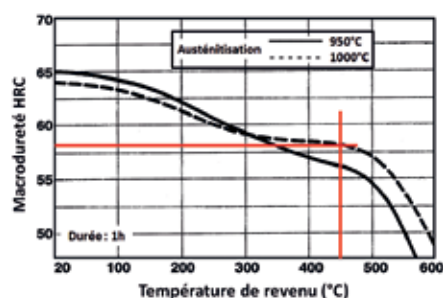


Figure 2: Courbes de revenu d'un acier X210Cr12 après austénitisation à 950 ou 1000°C suivie d'une trempe à l'huile (durée du traitement de revenu: 1h)

Il apparaît donc clairement que la température de revenu va avoir une importance primordiale sur les propriétés mécaniques de la pièce traitée thermiquement. Et un choix non judicieux de la température de revenu peut avoir comme conséquence la rupture de la pièce en service. En effet, il y a un lien direct entre la ténacité et la dureté. C'est ce qu'illustre le cas présenté ci-après.

Nous sommes en présence d'un rail en acier utilisé dans une machine de coulée en sidérurgie. Le rail doit permettre le déplacement d'une glissière à sa surface. S'étant brisé en service (Photo 1), il a

été demandé au service de Métallurgie de l'UMONS de réaliser une expertise afin de déterminer les causes probables (« root causes » en anglais) de la défaillance (« failure analysis » en anglais).

L'acier utilisé est un acier X210Cr12 qui contient entre 11 et 13 %pds de chrome, et entre 1.9 et 2.2 %pds de carbone. La figure 3 (www.otaisteel.com) permet de mieux comprendre la relation qui lie la dureté à la ténacité d'un acier. Celle-ci présente les courbes de revenu d'un acier X210Cr12 trempé à l'huile après une austénitisation à 954°C.

Le cahier des charges relatif au rail en acier était le suivant. Après la réalisation du traitement thermique de trempe (austénitisation à 950-1000°C suivie d'une trempe à l'huile qui permet d'obtenir une structure martensitique), un traitement de revenu à 540°C permet d'obtenir une dureté d'environ 53 à 56 HRC. La figure 3 montre que la dureté obtenue après trempe est d'environ 64 HRC. La pièce trempée est donc très dure mais trop fragile pour être utilisée. La ténacité obtenue est d'environ 20.3 J alors qu'une valeur minimale de 27 J est requise pour qu'un acier soit considéré comme tenace. Dans le cas qui nous occupe, les propriétés mécaniques requises lors de l'utilisation du rail sont une dureté de 53 à 56 HRC pour garantir

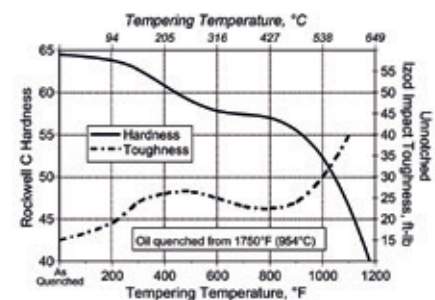


Figure 3: Courbes de revenu d'un acier X210Cr12 trempé à l'huile après austénitisation à 954°C (www.otaisteel.com) (Pour information, 1 ft-lb (foot-pound) = 1.35581 J (Joules))



Photo 1: Rail en acier X210Cr12 trempé/revenu fissuré

la résistance à l'usure de la surface du rail. En effet, il est généralement admis qu'une dureté importante est liée à une bonne résistance à l'usure. Le cahier des charges spécifie la réalisation d'un traitement thermique de revenu à une température de 540°C, cette température de revenu étant en réalité seulement indicative.

Les mesures de macro-dureté réalisées sur le rail montrent une dureté moyenne de 56.4 ± 0.5 HRC, ce qui est très légèrement au-dessus de la limite supérieure de dureté spécifiée dans le cahier des charges. En se basant sur les courbes de revenu présentées à la figure 3, on remarque qu'une dureté de 56.5 HRC correspond en réa-

lité à une température de revenu d'environ 455°C (ce qui est relativement éloigné de la température de 540°C indiquée dans le cahier des charges). La ténacité est dans ces conditions relativement faible, de l'ordre de 22.8 ft-lb soit environ 29.8 J.

Pour obtenir une dureté comprise entre 53 et 56 HRC, la température de revenu devrait être comprise entre 475 et 504°C. La ténacité serait alors comprise entre 31.2 et 38 J. On remarque que la température de revenu précisée dans le cahier des charges ne correspond pas à la réalité des courbes de revenu.

Enfin, la figure 3 montre qu'un traitement de revenu réalisé à une température de 540°C (comme indiqué dans le cahier des charges) donnerait une ténacité plus élevée, de l'ordre de 40.7 J, et donc une moins grande fragilité, tout en garantissant une dureté d'environ 52 HRC.

En conclusion, si les niveaux de dureté atteints sont suffisants pour garantir une bonne résistance à l'usure de la surface du rail, la solution dans ce cas de figure est de spécifier dans le cahier des charges, à la fois les niveaux de duretés à atteindre (52-53 HRC), le minimum de ténacité requis (environ 40 J) et la température de revenu optimale (540°C).

SEMINAR:

Wat kan de oppervlaktebehandeling industrie doen om hun CO2 voetafdruk te verkleinen?

Woensdag 9 november 2022

18u30-22u00

Hof ter Musschen, Brussel

Sprekers: Theo Bollen (Eco-Vision)
& Rudy Van Egten (Kluthe Benelux)

Young VOM leden: €50

Niet-Young VOM leden: €100

Schrijf je in via vom.be/nl/agenda

