

Corrosion et comportement d'adhérence des aciers galvanisés en béton contenant la teneur en chrome diminué dans le ciment

Résumé

Mise en place en 2005, la directive européenne 53/2003/EG limite la teneur en chrome soluble dans le ciment à un maximum de 2 ppm. On observe, de ce fait, un amorçage rapide de la corrosion des couches protectrices de zinc des armatures métalliques, plus particulièrement des barres en acier, dans le béton frais. Le taux de chrome n'est cependant pas le seul paramètre influant sur la tenue à la corrosion de ces barres. L'alcalinité du ciment utilisé joue lui aussi un rôle non négligeable. Un taux alcalin trop élevé va entraîner la formation de défauts entre le béton et l'acier galvanisé, suite à un dégagement d'hydrogène à l'interface.

L'objectif de ce projet a été, dans un premier temps, d'étudier l'effet d'une diminution de la teneur en chrome sur la tenue à la corrosion des couches protectrices de zinc dans le béton frais. Nous avons, dans un deuxième temps, recherché la corrélation entre teneur en chrome et défauts observés à l'interface. Cela nous a permis de proposer plusieurs améliorations pour le terrain. Afin d'atteindre nos objectifs, un vaste plan d'expériences a été mis en place. Des mesures électrochimiques et des tests d'arrachement ont été effectués sur trois types de ciments : CEM I (CPA¹), CEM II (CPJ¹) et CEM III (CHF¹). Ces ciments ont chacun été prélevés une fois avant et une fois après l'ajout de l'agent réducteur de chrome. Les deux échantillons de chaque ciment étudié appartiennent donc à la même charge. Nous sommes, par conséquent, assurés qu'un changement de comportement lors des mesures sera dû uniquement à la teneur en chrome de l'éprouvette. Par ailleurs, l'influence du taux alcalin a été étudiée sur le ciment commercial de type CEM I, en faisant varier son alcalinité.

Les mesures électrochimiques, effectuées sur toutes les éprouvettes, ont mis en avant l'influence du taux de chrome sur la tenue à la corrosion des aciers galvanisés et sur leur couche protectrice. Les plus grands écarts de comportement entre les éprouvettes avec la teneur naturelle en chrome et celles avec une teneur réglementaire ont été obtenus pour les types CEM I et CEM II. Les échantillons avec le taux naturel en chrome montrent, dans les premiers temps, une inhibition de l'attaque corrosive du zinc. La quantité d'hydrogène dégagée avant le durcissement du béton va, de ce fait, être réduite. Cette phase inhibitrice n'est pas observée pour les échantillons contenant la teneur réglementaire en chrome. La caractérisation de l'interface a, par ailleurs, montré l'existence d'une zone poreuse au voisinage de l'acier galvanisé, due à un fort dégagement d'hydrogène de cet acier plongé dans le béton frais. Le comportement des deux échantillons du ciment CEM III est relativement similaire. Une distinction entre les deux peut, dans ce cas, difficilement être faite. Le type de ciment CEM III contient, en effet, moins de clinker que les deux autres, d'où une teneur naturelle en chrome plus proche du taux limite autorisé. Aucun changement notable de la structure poreuse à l'interface n'a été observé.

L'influence du taux alcalin sur le comportement des éprouvettes peut être étudiée par des mesures électrochimiques ou par la caractérisation du comportement de l'interface. Les essais d'arrachement ont ainsi montré une perte d'adhésion à l'interface béton/acier galvanisé des échantillons au taux alcalin élevé.

¹ Norme française

Nous avons aussi mis en contact une barre d'acier ordinaire et une barre d'acier galvanisée dans une même structure. La formation d'hydrogène se passe comme prévu au niveau de la barre d'acier. L'interface entre le béton et l'acier galvanisé ne subit, dans ce cas, aucun changement. La quantité de charge calculée met à nouveau en avant le rôle inhibiteur du chrome. En effet, la quantité de charge calculée pour les échantillons avec la teneur naturelle en chrome est nettement inférieure à celle des échantillons avec une teneur réglementaire. Ces expériences confirment, par ailleurs, les observations faites précédemment. Un important changement de comportement entre, respectivement, les deux échantillons de CEM I et II a été relevé alors qu'aucune différence significative n'a été constatée pour le ciment de type CEM III.

Une analyse des essais d'arrachement a permis de mettre en évidence une forte dégradation de l'interface pour les ciments CEM I et II contenant un taux de chrome réglementaire. Pour les éprouvettes de ces deux ciments, âgées de sept jours, un glissement de 0,01 mm de la barre d'acier conduit déjà à une baisse notable des contraintes aux liaisons. Par contre, les résultats obtenus pour le ciment CEM III ne montrent pas réellement de contraste entre les deux teneurs en chrome. Les essais d'arrachement réalisés montrent donc une bonne corrélation avec les mesures électrochimiques. Les essais réalisés avec des éprouvettes âgées de vingt-huit jours ne montrent toutefois aucune différence significative de comportement entre les échantillons d'un même ciment. En outre, les essais d'arrachement réalisés avec un glissement de 0,5 mm ne permettent plus de mettre en évidence le rôle joué par le taux de chrome dans le béton. L'effet prédominant est, en fait, maintenant la résistance à la compression du béton.

Cette étude nous a permis de mettre en avant le rôle joué par la teneur en chrome dans le ciment. En effet, une diminution de cette teneur entraîne dans les ciments de type CEM I et II une dégradation importante de l'interface béton/acier galvanisé. Par contre, du fait de la teneur en chrome naturellement plus basse du ciment CEM III, une diminution de la teneur en chrome dans ce ciment n'aura, par conséquent, pas grand impact sur le comportement à l'interface.