



en partenariat avec



Journée sur la mise en œuvre et les traitements de surface des différentes catégories d'aciers (hors aciers inoxydables) GIP Innovergne, 13 novembre 2018

Programme

9h15-9h30 : Introduction de la journée par les organisateurs

Première séance de travail (9h30-13h)

- 9h30-10h00 : Aptitude à l'emboutissage des produits plats minces en aciers de construction métallique : Robert LEVEQUE (CEM)
- 10h00-10h30 : Formage des tôles fortes en aciers faiblement alliés : Régis BLONDEAU (CEM)
- 10h30-11h30 : Aptitude au soudage des aciers faiblement alliés : Régis BLONDEAU (CEM)
- 11h30-12h : Pause
- 12h00-13h00 : Traitements de surface sur produits plats en aciers de construction métallique : Robert LEVEQUE (CEM)

Deuxième séance de travail (14h-16h30)

- 14h00-15h00 : Evolution des aciers spéciaux, impact sur l'usinabilité : Enrico d'ERAMO (ASCOMETAL, CREAS Hagondange)
- 15h-16h30 : Traitements de surface sur pièces mécaniques et outils : Robert LEVEQUE (CEM)

SYNTHESE

Après le succès des deux journées sur le thème des aciers inoxydables et de leurs traitements de surface, en octobre 2016 et mars 2017, le Cercle d'Etudes des Métaux et la Maison Innovergne ont décidé conjointement d'organiser deux journées sur les autres catégories d'aciers, en mai et novembre 2018. La première des deux journées sur le thème de la métallurgie des différentes catégories d'aciers autres que les aciers inoxydables a eu lieu le 15 mai 2018, devant un public de 65 personnes constituées à 50% par des industriels et à 30% par des lycéens et des représentants du monde universitaire. La deuxième journée, qui s'est déroulée le 13 novembre 2018, a été consacrée aux propriétés de mise en œuvre, notamment l'aptitude au soudage, à l'usinage, au formage pour les tôles fortes et à l'emboutissage pour les tôles minces ($e < 6$ mm) ainsi qu'aux différentes catégories de traitements de surface pour améliorer les propriétés de résistance à la corrosion et de tenue mécanique. Six conférences lui ont été consacrées, avec la participation de la société Ascometal pour les problèmes d'aptitude à l'usinage, devant un public d'une soixantaine de personnes constitué de 44% d'industriels et de 56% d'universitaires (enseignants et lycéens). La première séance de travail

a été consacrée aux produits plats, aciers de construction métallique, et la deuxième séance a été consacrée aux produits longs, aciers spéciaux de construction mécanique.

Première séance de travail : Mise en œuvre et traitements de surface des produits plats :

La première présentation a été relative à la mise en forme par emboutissage des différentes familles de produits plats. Après une définition de la mise en forme par emboutissage et des principaux modes de déformation, il a été montré l'intérêt de l'essai de traction sur produits plats pour caractériser ce type de propriété. Le classement des différentes familles de produits plats a ensuite été présenté avec quelques exemples de réalisations industrielles, empruntées au domaine de l'industrie automobile. Dans ce domaine, la nécessité d'allègement a conduit les industriels à réaliser des pièces en aciers à haute résistance embouties à chaud après réalisation d'un revêtement protecteur en alliage Al-10%Si pour éviter toute oxydation. La dernière génération de pièces embouties, notamment pour les pièces de sécurité dans les véhicules, a été présentée avec des aciers dont le niveau de résistance mécanique atteint 2000 MPa.

La seconde présentation a été relative au formage des tôles fortes en aciers faiblement alliés. Cette opération peut conduire à des modifications relativement importantes des propriétés mécaniques des aciers, liées notamment au phénomène de vieillissement, avec des conséquences sur la tenue en service des appareils. Après un aperçu des différentes opérations de mise en forme par pliage, emboutissage, cintrage, roulage, l'effet des déformations à froid et à chaud a été examiné sur deux exemples d'aciers de chaudronnerie : l'acier utilisé pour la construction des éléments de centrales nucléaires (A533 GrB, 18MnNiMo6) et un acier mis en œuvre dans les appareils de pétrochimie (15MnMoV4-05). Ainsi, un cintrage à froid de 5% et un formage à chaud à une température de 50°C au maximum en dessous de la température de revenu n'entraînent pas de différences notables au niveau des caractéristiques mécaniques. Quelques exemples d'applications industrielles d'éléments de structures en acier au Cr-Mo relatifs à des réacteurs d'hydrotraitement et en acier au Mn-Si pour gazoducs et conduites forcées ont été présentés.

La troisième présentation a été relative au soudage des aciers faiblement alliés. Une première partie a été consacrée à la description des différents procédés, électrode enrobée, soudage sous flux, TIG, MIG, fil fourré avec gaz, soudage vertical sous laitier pour produits épais (jusqu'à 1,5 m d'épaisseur), faisceau d'électrons, laser, soudage par étincelage, par induction et par friction avec leurs avantages et leurs limitations respectives. Une deuxième partie a été consacrée à la métallurgie du soudage avec l'analyse des cycles thermiques en fonction de l'énergie de soudage et son incidence sur les différentes structures aussi bien dans les cordons que dans les zones affectées thermiquement. Une troisième partie a été consacrée aux défauts de soudage : fissures à froid avec la pénétration de l'hydrogène liée au process, fissures à chaud en liaison avec la structure métallurgique des zones affectées thermiquement, soufflures, manque de pénétration. Les problèmes de tenue à la fatigue et de résistance à l'arrachement lamellaire des joints soudés ont été également abordés avec la réalisation de traitements adaptés comme le grenailage de précontrainte ou la refusion TIG pour améliorer à la fois la surface et la géométrie des soudures.

La quatrième présentation a été relative aux différentes filières de traitements de surface sur produits plats. Il s'agit essentiellement de protéger les aciers contre la corrosion pour des applications dans le domaine du bâtiment, des travaux publics et de l'industrie automobile. Les différentes filières de traitement en continu de tôles avec réalisation de dépôts de zinc, d'aluminium, d'étain, aussi bien par immersion en bains fondus que par voie électrolytique

ont été présentées. Des voies en développement telles que la réalisation de dépôts sous vide en continu d'alliages de zinc magnésium ont également été présentées. Les traitements de finition par conversion pour améliorer l'adhésion de vernis ou de peintures, comme la phosphatation ou la chromatisation ont été décrits avec, en plus, le problème environnemental lié à la chromatisation et la recherche de solutions de substitution. Parmi ces solutions, on peut souligner l'émergence de techniques nouvelles comme les sol-gel à partir de silanes, tout à fait compatibles avec la déposition en continu.

Deuxième séance de travail : Mise en œuvre et traitement de surface des produits longs :

La première présentation a été relative aux problèmes d'aptitude à l'usinage des aciers spéciaux de construction mécanique dont les caractéristiques mécaniques ont été sensiblement améliorées ces dernières années. La demande actuelle d'une augmentation de productivité a nécessité une approche de l'usinabilité des aciers sous la forme d'un triptyque Outil-Matière-Machine et la modélisation de la coupe a fait l'objet de travaux en collaboration avec plusieurs centres universitaires depuis une dizaine d'années. Ces travaux ont permis de déterminer un indice d'usinabilité conforté par des essais expérimentaux pour une famille d'aciers de structure ferrito-perlitique dont les lois de comportement sont connues, avec la possibilité d'étendre ces résultats à d'autres types de structures, bainitiques et martensitiques. Les travaux relatifs à l'optimisation de l'état inclusionnaire pour améliorer l'aptitude à l'usinage ont conduit à différentes solutions qui ont été successivement présentées : enrobage des oxydes, fragmentation des copeaux avec inclusions de MnS, brise copeaux avec addition de Pb et de Bi, triptyque $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ pour des applications dans le décolletage, limitation des oxydes Al_2O_3 pour le taillage à grande vitesse d'aciers nécessitant une bonne tenue à la fatigue. Toutes ces solutions ont été développées en liaison avec les clients pour assurer le meilleur compromis caractéristiques mécaniques aptitude à l'usinage.

Le dernier exposé de la journée a été consacré aux différentes filières de traitements de surface sur pièces mécaniques et outillages. Il s'agit dans ce cas d'améliorer les fonctionnalités de résistance à la fatigue mécanique ou thermique, de tenue au frottement et à l'usure, et cela dans un certain nombre de cas d'une manière compatible avec une bonne résistance à la corrosion et à l'oxydation. Une filière susceptible d'améliorer la tenue à la fatigue mécanique est la transformation structurale superficielle par voie mécanique ou thermique. La voie mécanique comprend le grenailage avec l'émergence d'une technique telle que le nanopeenig, ou le choc laser qui permet d'assurer de plus grandes pénétrations. La voie thermique comprend les traitements superficiels avec différents modes de chauffage tels que l'induction, la flamme oxyacétylénique, le laser ou le faisceau d'électrons. Les caractéristiques associées à chaque mode de chauffage en termes de pénétration et de dureté superficielle ont été présentées. La deuxième filière présentée, susceptible d'améliorer à la fois les propriétés de résistance à la fatigue mécanique et thermique est celle des traitements thermochimiques : cémentation, carbonitruration et nitruration. Les principaux domaines d'application de ces techniques sont la transmission de puissance dans l'industrie automobile et l'outillage de mise en forme aussi bien à froid qu'à chaud. La filière susceptible d'améliorer la tenue au frottement et à l'usure, assez souvent d'une manière compatible avec la tenue à la corrosion et à l'oxydation, est celle des revêtements obtenus par voie liquide (immersion en bains fondus ou dépôt électrolytique) et par voie sèche. La voie sèche par techniques de plasmas froids est de nos jours très largement utilisée, notamment pour des raisons environnementales. Les différentes méthodes (PVD, PACVD, pulvérisation magnétron, évaporation par arcs multiples) ont été présentées avec leurs principales caractéristiques en termes de vitesse de dépôt, domaine de température et adhérence sur le substrat. Les différents types de dépôts ont été passés en revue avec leurs domaines

d'application, notamment dans l'outillage. La voie sèche comprend également la réalisation de revêtements plus épais au-delà de 100 μm , par projection à chaud de céramiques et de cermets, avec les différentes techniques d'apport d'énergie telles que le chalumeau oxyacétylénique, le plasma et la projection à haute vitesse (HVOF). Elle comprend également la réalisation de rechargements d'aciers ou d'alliages spéciaux base nickel ou cobalt par les techniques de soudage (TIG, MIG, plasma et laser notamment).