

FRANÇAIS

Mise en forme des alliages cuivreux et archéométaballurgie

..... 97
M. Pernot

Sept métaux et une dizaine d'alliages ont été utilisés dans le monde occidental durant les Âges des métaux. Pour les alliages à base de cuivre, les procédés de fabrication artisanale (fonderie, martelage et finition) sont examinés et discutés sous les aspects archéologiques et métallurgiques. Des résultats obtenus en Bourgogne, du I^{er} siècle avant J.-C. au III^e siècle après J.-C., permettent une réflexion sur l'organisation des ateliers et la production de série.

Plasticité de transformation et effet mémoire de forme de deux aciers de types Fe-Mn-Si et Fe-Mn-Cr-Ni-Si

..... 113
T. Bouraoui, K. Tamarat, B. Dubois

Nous présentons une étude expérimentale de la plasticité de transformation accompagnant la transformation martensitique $\gamma(\text{cfc}) \rightarrow \epsilon(\text{hc})$ relative à deux aciers à mémoire de forme Fe-31Mn-6Si et Fe-18Mn-8Cr-5Ni-5Si. Cette étude montre que des échantillons austénitiques, soumis à des faibles contraintes de flexion, présentent une plasticité de transformation au refroidissement. La formation de martensite ϵ orientée et la variation de volume entre la phase mère et la phase transformée sont à l'origine de ce comportement. Par ailleurs, nous montrons que la plasticité de transformation des aciers du type Fe-Mn-Si est réversible par effet mémoire de forme. En effet, contrairement aux aciers TRIP, la plasticité des aciers étudiés disparaît par simple chauffage. Le taux de recouvrement dépend de la nuance de l'acier et du fait que la contrainte est maintenue ou relâchée. Dans les deux cas, nous avons observé des effets liés à la réversion de la martensite induite sous contrainte.

Simulation de la recristallisation à partir de microstructures caractérisées par MET ou par OIMTM. Application au Fe-3%Si et au Fe-36%Ni

..... 121
T. Baudin, R. Penelle

La simulation de la recristallisation primaire et de la croissance granulaire se fait classiquement à partir d'une microstructure théorique construite numériquement sur laquelle une texture est distribuée de manière aléatoire. Les résultats ainsi obtenus donnent une bonne représentation du comportement global du matériau au cours du recuit mais ne permettent pas d'avoir une vision locale, cohérente avec la réalité. En effet, de telles procédures supposent implicitement une parfaite homogénéité à la fois de la microstructure et de la texture qui n'est que très rarement observée expérimentalement. C'est pourquoi, depuis quelques années, nous avons proposé de réaliser un couplage entre la simulation et l'expérience dans le sens où une microstructure réelle caractérisée par MET ou par OIMTM est utilisée comme donnée du calcul. Les premières simulations ainsi réalisées ont montré la faisabilité mais aussi les potentialités d'une telle approche. Ces résultats sont résumés dans le présent document et discutés en tentant de mettre en avant les limitations de ces simulations liées en particulier au manque de données expérimentales concernant d'une part les énergies emmagasinées par les grains au cours de la déformation et d'autre part les énergies et les mobilités des joints de grains.

Alliation laser : renforcement d'un acier de construction par fusion de pré-dépôts à base de bore

..... 135
F. Marasescu, F. Hlawka, A. Cornet

La formation d'alliages de surface par fusion sous faisceau laser (alliation laser) permet de renforcer les surfaces de matériaux métalliques aux propriétés ordinaires ou médiocres (résistance à l'usure, à la corrosion...). La fusion sous faisceau laser CO₂, de divers pré-dépôts contenant du bore (carbures de bore, bore, mélanges bore-fer, bore-zircone) et réalisés à l'aide d'un liant organique sur la surface de l'acier 35CrMo4, donne ici des alliages de surface dont la dureté croissante avec la teneur en bore, peut atteindre 1200 HV sur un millimètre de profondeur pour un taux massique de 5,7 % de bore sans qu'apparaisse le borure fragile FeB.

Lois de frottement évolutives destinées à la simulation numérique de l'emboutissage

..... 145
C. Magy

Les efforts consentis depuis quelques années vis-à-vis de l'intégration de lois de comportement mécaniques dans la simulation numérique s'étendent maintenant aux lois de frottement. Après une présentation des principales lois disponibles dans la bibliographie, une méthode permettant d'accéder à une loi de frottement empirique est décrite. La validité de cette dernière est illustrée au travers de l'analyse du comportement tribologique de trois aciers : nu, électrozingué et galvanisé.

Réactions entre tôle d'acier et revêtement de zinc lors du soudage

..... 157
T. Dupuy, A. Clad, Y. Bienvenu

Lors du soudage d'une tôle d'acier revêtue de zinc, le cycle thermique subi peut activer des réactions d'alliation et/ou de diffusion entre acier et zinc. Ces réactions se développent plus ou moins selon le type de revêtement (galvanisé, électrozingué, « galvanealed »), ce qui détermine ensuite l'agressivité chimique du revêtement pour son environnement, par exemple les électrodes de cuivre en soudage par points.

Comportement mécanique des structures soudées fissurées : prise en compte de l'effet « mismatch »

..... 167
P. Hornet

L'analyse de la nocivité d'un défaut dans une soudure ou aux alentours de celle-ci nécessite de prendre en compte les propriétés mécaniques des différents matériaux constituant la soudure et en particulier l'effet des différentes limites d'élasticité appelé effet « mismatch ». Cet article propose une synthèse des études réalisées depuis plusieurs années sur ce sujet à Electricité de France en liaison avec différents travaux français et internationaux.

Tenue des aciers inoxydables à l'oxydation cyclique. Application à l'échappement automobile

..... 177
L. Antoni, B. Baroux

Une série d'aciers inoxydables austénitiques et ferritiques stabilisés au Ti et/ou Nb a été caractérisée en oxydation cyclique à l'air entre 850 et 950°C en vue de guider les utilisateurs dans le choix des matériaux pour les parties chaudes d'une ligne d'échappement automobile. Le cycle thermique a été défini de façon à se rapprocher

des conditions réelles d'utilisation. Il a ainsi permis de confirmer l'importance des phénomènes d'écaillage sur la tenue en température. Grâce à des coefficients de dilatation thermique plus faibles, les aciers inoxydables ferritiques stabilisés présentent un excellent comportement. Les résultats mettent également en évidence l'importance de la nature des stabilisants (Ti, Nb) et de leur concentration sur la tenue en oxydation cyclique de ces nuances.

Effet de l'addition de composés inorganiques sur le comportement à la corrosion de l'alliage d'aluminium 3003 en milieu chloruré 184
L. Bazzi, R. Salghi, A. Bouchart, Z. El Alami, S. Kertit

L'inhibition de la corrosion d'un alliage d'aluminium 3003 par les ions Li^+ , Mg^{2+} , MoO_4^{2-} , NO_2^- et CrO_4^{2-} est étudiée dans une solution de NaCl 3 %. Les méthodes utilisées au cours de ce travail sont le tracé des courbes de polarisation et l'examen métallographique de l'état de surface. Les résultats obtenus montrent que les ions testés inhibent le processus de corrosion. L'étude comparative de l'action de ces ions révèle que ce sont les ions Mg^{2+} qui ont la meilleure action dans l'intervalle de température allant de 25 à 65°C. L'efficacité inhibitrice croît avec la concentration de ces ions et atteint la valeur de 86 % à 5.10^{-2} M. La présence des ions Mg^{2+} a aussi pour effet de réduire la sensibilité à la piqûre de l'alliage 3003. Ceci se traduit par l'élargissement de l'écart entre les potentiels de piqûre et de corrosion. À 75°C, les ions Mg^{2+} deviennent stimulateurs de la corrosion de l'alliage 3003 dans le milieu étudié.

Courte communication : Corrosion chimique ou électrochimique ? 199
J.-L. Crolet

ENGLISH

Forming copper-base alloys and archaeometallurgy 97
M. Pernot

During the Bronze and Iron Ages, seven metals and about ten alloys were employed in the Western world. The manufacturing processes used by craftsmen (casting, hammering, finishing) for the copper base alloys are examined and discussed from the archaeological and metallurgical points of view. Some results obtained in Burgundy, dating from the 1st century BC to the 3rd century AD, permit tentative conclusions to be drawn regarding workshop organization and mass production.

Transformation plasticity and shape memory effect in Fe-Mn-Si and Fe-Mn-Cr-Ni-Si based steels 113
T. Bouraoui, K. Tamarat, B. Dubois

Two shape memory steels of the types Fe-31Mn-6Si and Fe-18Mn-8Cr-5Ni-5Si have been used for the experimental study of the transformation plasticity associated in these steels with the martensitic transformation $\gamma(\text{fcc}) \rightarrow \epsilon(\text{hcp})$. This study shows that austenitic samples, submitted to small bending stresses, show transformation plasticity on cooling. The formation of oriented ϵ martensite and the volume change between the primary and the transformed phases are responsible for this behaviour. In Fe-Mn-Si types of steel, transformation plasticity is reversible by a mechanism of shape memory. In contrast with TRIP steels, the plastic strain in the steels studied disappears on heating. The degree of shape

recovery depends on the type of steel and on the fact that the stress is maintained or released. In both cases, effects relative to stress induced martensite reversion are observed.

Simulation of recrystallization starting from microstructures characterized by TEM or by OIM™. Application to Fe-3%Si and Fe-36%Ni alloys 121
T. Baudin, R. Penelle

Classically, the simulation of primary recrystallization and grain growth starts from a theoretical microstructure defined numerically and characterized by a random texture distribution. The results obtained in this way represent well the overall behaviour of the material during annealing, but do not allow to obtain a local description, consistent with reality. In such procedures, a perfect homogeneity is assumed both for microstructure and for texture, which is generally not observed experimentally. For this reason, the authors have proposed in recent years to combine simulation and experimental observations ; the calculation starts from the real microstructure characterized by TEM or by OIM™. The first simulations of this kind carried out have shown that such an approach is feasible and has a great potential. These results are summarized and discussed in this paper. There are limits to this approach, related in particular to the lack of experimental data on the strain energies stored in the grains after deformation and on the energies and mobilities of grain boundaries.

Laser surface alloying of a chromium-molybdenum steel : mechanical behaviour improvement by melting of boron coatings 135
F. Marasescu, F. Hlawka, A. Cornet

Surface laser alloying can improve mechanical behaviour, particularly hardness, wear or corrosion resistance. Here, different boron coatings – boron carbides, boron, boron-iron or zirconia-boron mixtures – on a chromium-molybdenum steel are laser melted ; the laser tracks show rather homogeneous microstructures ; hardness increases with boron content and can reach about 1200 HV over a one millimeter depth with 5.7 % boron, without the formation of the brittle phase FeB.

Friction laws dedicated to the numerical simulation of deep drawing 145
C. Magny

Efforts made since a few years in view of the integration of mechanical laws in numerical simulation now spread to friction behaviour. After presentation of the major laws available in the literature, a method permitting to obtain an empirical friction law is described. The validity of this approach is illustrated through the analysis of the tribological behaviours of three steel sheets : cold rolled, electro-galvanized and hot dip galvanized.

Reactions between a steel sheet and its zinc coating during welding 157
T. Dupuy, A. Clad, Y. Bienvenu

When welding a zinc coated steel sheet, the associated thermal cycle may activate diffusion and/or alloying reactions between steel and zinc. These reactions develop differently depending on the coating type (electro- or hot dip-galvanized, galvanized). This in turn determines the chemical aggressiveness of the coating toward its environment, for example the copper electrodes used in spot welding.

Mechanical behaviour of cracked welded structures including the mismatch effect 167
P. Hornet

Taking into account the mechanical properties of the different materials constituting a weld (mismatch effect) is necessary when dealing with defect assessment of structures with a crack located in a weld or near it. This paper is a synthesis of the work done in the past at Electricité de France on this topic in relation with other works done in France or around the world.

Cyclic oxidation behaviour of stainless steels. Application to the automotive exhaust lines 177
L. Antoni, B. Baroux

Several ferritic stabilized and austenitic stainless steels were investigated under cyclic high temperature corrosion conditions in order to assist material engineers in the choice of materials assigned to automotive exhaust systems. Cycle conditions were chosen to be representative of an actual vehicle use. The importance of spalling phenomena was confirmed. Due to their low thermal expansion coefficients, the ferritic stabilized grades behave fairly well, even in these rather severe high temperature conditions. The influence of nature and concentration in stabilizing elements (Ti, Nb) on the cyclic oxidation behaviour is pointed out.

The inhibition effect of inorganic compounds on the corrosion of the 3003 aluminium alloy in the presence of sodium chloride 189
L. Bazzi, R. Salghi, A. Bouchart, Z. El Alami, S. Kertit

This study concerns the inhibition of the corrosion of the aluminium alloy 3003 in a solution of 3 % NaCl by Li^+ , Mg^{2+} , MoO_4^{2-} , NO_2^- and CrO_4^{2-} ions. The methods used are the determination of the polarization curves and the metallographic examination of the surface condition. The results obtained show that the tested ions inhibit the corrosion process. The comparative study of the effect of these ions shows that the Mg^{2+} ions are the most efficient ones in the temperature range from 25 to 65°C. The inhibition efficiency increases with the concentration of these ions and reaches a maximum value of 86 % for 5×10^{-2} alloy. As a consequence, the gap between pitting and corrosion potentials becomes larger. At 75°C, Mg^{2+} ions tend to stimulate corrosion of alloy 3003 in the chloride solution considered.

Short communication : Chemical or electrochemical corrosion ? 199
J.-L. Crolet

ESPAÑOL

Conformación de las aleaciones cuprosas y arqueometalurgia 97
M. Pernot

Siete metales y una decena de aleaciones se han utilizado en el mundo occidental durante las Edades de los metales. Para las aleaciones a base de cobre, los procedimientos de fabricación artesanal (fundición, martillado, acabado) son examinados y discutidos bajo los aspectos arqueológicos y metalúrgicos. Los resultados obtenidos en Borgogna, del 1er. siglo antes de J-C al 3er. siglo después de J-C., permiten una reflexión sobre la organización de los talleres y la producción en serie.

Plasticidad de transformación y efecto memoria de forma de los aceros de los tipos Fe-Mn-Si y Fe-Mn-Cr-Ni-Si 113
T. Bouraoui, K. Tamarat, B. Dubois

Se presenta un estudio experimental de la plasticidad de transformación acompañando la transformación martensítica $\gamma(\text{ccc}) \rightarrow \epsilon(\text{hc})$ relativa a dos aceros con memoria de forma Fe-31Mn-6Si y Fe-18Mn-8Cr-5Ni-5Si. Este estudio muestra que muestras austeníticas, sometidas a débiles tensiones de flexión, presentan una plasticidad de transformación al enfriamiento. La formación de martensita ϵ orientada y la variación de volumen entre la fase madre y la fase transformada están en el origen de este comportamiento. Además, se muestra que la plasticidad de transformación de los aceros del tipo Fe-Mn-Si es reversible por el efecto memoria de forma. En efecto, contrariamente a los aceros TRIP, la plasticidad de los aceros estudiados desaparece por un simple calentamiento. La tasa de recubrimiento depende del tipo de acero y del hecho que la tensión se mantenga o se afloje. En ambos casos, se han observado los efectos ligados a la reversión de la martensita inducida bajo tensión.

Simulación de la recristalización a partir de microestructuras caracterizadas por MET o por OIM™. Aplicación al Fe-3% Si y al Fe-36%Ni 121
T. Baudin, R. Penelle

La simulación de la recristalización primaria y del crecimiento granular se hace de forma clásica a partir de una microestructura teórica construida numericamente sobre la que una textura se distribuye de manera aleatoria. Los resultados así obtenidos dan una buena representación del comportamiento global del material durante el recocido pero no permiten tener una visión local, coherente con la realidad. En efecto, tales procedimientos suponen implícitamente una perfecta homogeneidad a la vez de la estructura y de la textura que no es más que muy raramente observada experimentalmente. Es por lo que después de algunos años, se ha propuesto realizar una unión entre la simulación y la experiencia en el sentido donde una microestructura real caracterizada por MET o por OIM™ es utilizada como dato del cálculo. Las primeras simulaciones así realizadas han mostrado la factibilidad pero también la potencialidad de una tal aproximación. Estos resultados se resumen en el presente documento y discuten con la intención de poner en antecedentes las limitaciones de estas simulaciones ligadas en particular a la falta de datos experimentales concernientes de una parte las energías almacenables por los granos durante la deformación y de otra parte por las energías y la movilidad de las juntas de grano.

Aleación laser : reforzamiento de un acero de construcción por fusión de predepositos a base de boro 135
F. Marasescu, F. Hlamka, A. Cornet

La formación de aleaciones superficiales por fusión bajo rayos laser (aleación laser) permite reforzar las superficies de los materiales metálicos en las propiedades ordinarias o mediocres (resistencia al desgaste, a la corrosión...). La fusión bajo rayos laser CO_2 , de diversos predepositos conteniendo boro (carburos de boro, boro, mezclas boro-hierro, boro-circonio) y realizados con la ayuda de un ligante orgánico sobre la superficie del acero 35CrMo4, dan las aleaciones de superficie cuya creciente dureza con el contenido en boro, puede alcanzar 1200 HV sobre un milímetro de profundidad para una tasa másica de 5,7 % de boro sin que aparezca el boruro frágil FeB.

Leyes de frotamiento evolutivas destinadas a la simulación numérica de la embutición 145

C. Magny

Los esfuerzos consentidos después de algunos años respecto de la integración de las leyes de comportamiento mecánico en la simulación numérica se extienden ahora a las leyes de frotamiento. Después de una presentación de las principales leyes disponibles en la bibliografía, se describe un método que permite acceder a una ley de frotamiento empírico. La validez de este último se ilustra a través del análisis del comportamiento tribológico de tres aceros : desnudo, electrocincado y galvanizado.

Reacciones entre chapa de acero y revestimiento de cinc a partir de la soldadura 157

T. Dupuy, A. Clad, Y. Bienvenu

A partir de la soldadura de una chapa de acero revestida de cinc, el ciclo térmico sufrido puede activar las reacciones de aleación y/o de difusión entre acero y cinc. Estas reacciones se desarrollan más o menos según el tipo de revestimiento (galvanizado, electrocincado, « galvannealed ») lo que seguidamente determina la agresividad química del revestimiento por su medio ambiente, por ejemplo los electrodos de cobre en la soldadura por puntos.

Comportamiento mecánico de las estructuras soldadas fisuradas : consideración del efecto « mismatch » 167

P. Hornet

El análisis de la nocividad de un defecto en una soldadura o en sus alrededores necesita tomar en cuenta las propiedades mecánicas de diferentes materiales que constituyen la soldadura y en particular el efecto de los diferentes límites de elasticidad llamado efecto « mismatch ». Este artículo propone una síntesis de los estudios realizados después de varios años sobre este asunto en « Électricité de France » en unión con diferentes trabajos franceses e internacionales.

Comportamiento de los aceros inoxidable a la oxidación cíclica. Aplicación al escape del automóvil 177

L. Antoni, B. Baroux

Una serie de aceros inoxidable austeníticos y ferríticos estabilizados con Ti, y/o Nb han estado caracterizado en oxidación cíclica al aire entre 850 y 950°C con vistas a guiar a los utilizadores en la elección de los materiales para las partes calientes de una línea de escape de automóviles. El ciclo térmico ha sido definido de manera de aproximarse a las condiciones reales de utilización. Esto ha permitido confirmar la importancia de los fenómenos de escamadura en el comportamiento a la temperatura. Gracias a los coeficientes de dilatación térmica más débiles, los aceros inoxidable ferríticos estabilizados presentan un excelente comportamiento. Los resultados ponen igualmente en evidencia la importancia de la naturaleza de los estabilizantes (Ti, Nb) y de su concentración en el comportamiento a la oxidación cíclica de estos tipos.

Efecto de la adición de compuestos inorgánicos en el comportamiento a la corrosión de la aleación de aluminio 3003 en medio clorurado 189

L. Bazzi, R. Slaghi, A. Bouchart, Z. El Alami, S. Kertit

La inhibición de la corrosión de una aleación de aluminio 3003 por los iones Li^+ , Mg^{2+} , MoO_4^{2-} , NO_2^- y CrO_4^{2-} es estudiada en una solución de NaCl al 3 %. Los métodos utilizados durante este trabajo son el trazado de las curvas de polarización y el examen metalográfico del estado de superficie. Los resultados obtenidos

muestran que los iones ensayados inhiben los procesos de corrosión. El estudio comparativo de la acción de estos iones revela que son los iones Mg^{2+} los que tienen una mejor acción en el intervalo de temperatura de 25 a 65°C. La eficacia inhibidora crece con la concentración de estos iones y alcanza el valor del 86 % a $5 \cdot 10^{-2}$. La presencia de los iones Mg^{2+} tiene también el efecto de reducir la sensibilidad a la picadura de la aleación 3003. Esto se traduce por la ampliación del desvío entre los potenciales de picadura y de corrosión. A 75°C, los iones Mg^{2+} se hacen estimuladores de la corrosión de la aleación 3003 en el medio estudiado.

Corta comunicación : Corrosión química o electroquímica ?

..... 199

J.L. Crolet

DEUTSCH

Formgebung von Kupferlegierungen und archäologische Metallurgie 97

M. Pernot

In der abendländischen Welt wurden sieben Metalle und ein Dutzend Legierungen während des Metallzeitalters verwendet. Für die Legierungen auf Kupferbasis werden die handwerklichen Herstellungsverfahren (Giessen, Hämmern, Vollendung) unter archäologischen und metallurgischen Aspekten in diesem Bericht geprüft und diskutiert. Aus Burgund erhaltene Ergebnisse aus dem ersten Jahrhundert v.Chr. bis dritten n.Chr. führen zu Vorstellungen über die Organisation der Werkstätten und die Serienfabrikation.

Umwandlungsplastizität und Formgedächtnis Effect von zwei Stählen des Typs Fe-Mn-Si und Fe-Mn-Cr-Si 113

T. Bouraoui, K. Tamarat, B. Dubois

Eine experimentelle Untersuchung der Umwandlungsplastizität wird vorgestellt, welche die Martensitumwandlung von γ (kubisch-flächenzentriert) zu ϵ (hexagonal dichtgepackt) bei zwei Stählen mit Formgedächtnis Fe-31Mn-6Si und Fe-18Mn-8Cr-5Ni-5Si begleitet. Diese Untersuchung zeigt, dass austenitische Proben, die geringen Biegespannungen unterworfen wurden, bei der Abkühlung eine Formänderung durch Umwandlungsplastizität aufweisen. Die Bildung des orientierten ϵ -Martensits und die Volumveränderung zwischen der Mutterphase und der umgewandelten Phase sind der Ursprung dieses Verhaltens. Im weiteren wird gezeigt, dass die Umwandlungsumformung bei Stählen vom Typ Fe-Mn-Si durch den Memoryeffekt reversibel ist. Allerdings verschwindet die Plastizität der untersuchten Stähle, im Gegensatz zu den TRIP-Stählen, bei einfachem Erwärmen. Der Grad Formerholung hängt von der Stahlsorte und der Tatsache ab, dass die Spannung gehalten oder abgeschwächt wird. In beiden Fällen wurden die Effekte, die an die Rückumwandlung des induzierten Martensits unter Spannung gebunden sind, beobachtet.

Simulation der Rekristallisation, ausgehend von den mittels TEM oder OIM beschriebenen Merkmalen der Mikrostrukturen. Anwendung bei Fe-3%Si und Fe-36%Ni 121

T Baudin, R. Penelle

Die Simulation der Primärrekristallisation und des Kornwachstums geht klassisch von einer numerisch konstruierten theoretischen Mikrostruktur aus, auf der eine Textur mit einer durch Zufall bestimmten Orientierungsverteilung überlagert wird. Die so erhaltenen Ergebnisse stellen das Gesamtverhalten des Werkstoffs

während des Glühens gut dar, erlauben aber keine lokale Betrachtung, die mit der Wirklichkeit kohärent ist. Zwar setzen solche Verfahren implizit eine vollkommene Homogenität sowohl des Mikrogefüges als auch der Textur voraus, was nur sehr selten experimentell beobachtet wird. Deshalb wird seit einigen Jahren von uns vorgeschlagen, eine Verbindung zwischen der Simulation und der Erfahrung in dem Sinn herzustellen, wo die wirklich mittels TEM oder OIM™ beschriebene Mikrostruktur als bekannter Rechenwert vorliegt. Die ersten so durchgeführten Simulationen haben die Machbarkeit aber auch die Möglichkeiten einer solchen Näherung aufgezeigt. Diese Ergebnisse werden im vorliegenden Bericht zusammengefasst und diskutiert, wobei versucht wird, die Grenzen dieser Simulationen zu bestimmen, die mit dem Mangel an Versuchsdaten, über die in den Körnern gespeicherte Verformungsenergie und über die Energie und Beweglichkeit der Korngrenzen, zusammenhängen.

Laserlegieren : Verstärkung eines Baustahls durch Aufschmelzen von Bor-haltigen Auftragschichten 135
F. Marasescu, F. Hlawka, A. Cornet

Die Bildung von Oberflächenlegierungen durch Schmelzen mit dem Laserstrahl (Laserlegieren) ermöglicht, die Oberflächen metallischer Werkstoffe mit üblichen oder mittelmässigen Eigenschaften (Verschleissfestigkeit, Korrosionswiderstand) zu verstärken. Das Aufschmelzen mit dem CO₂-Laserstrahl von verschiedenen Auftragschichten, die Bor (Borkarbid, Bor, Bor-Eisen-Mischungen, Bor-Zirkon) enthalten und mit Hilfe eines organischen Bindemittels auf der Oberfläche des Stahls 35CrMo4 realisiert wurden, liefern jetzt Oberflächenlegierungen, deren Härte mit dem Borgehalt zunimmt, und in ein Millimeter Tiefe bei 5,7 Gewichtsprozent Bor einen Wert von 1 200 HV erreicht, ohne dass das spröde Borid FeB auftritt.

Entwicklungsfähiges Reibungsgesetz für die numerische Simulation des Ziehens 145
C. Magny

Die allseitigen Anstrengungen seit einigen Jahren die Gesetze über das mechanische Verhalten des Werkstoffs in die numerische Simulation zu integrieren, erstrecken sich jetzt auf das Gesetz der Reibung. Nach einer Vorstellung der in der Literatur vorhandenen Gesetze wird eine Methode beschrieben, die den Zugang zu einem empirischen Reibungsgesetz ermöglicht. Die Gültigkeit des Letzteren wird durch die Analyse des tribologischen Verhaltens von drei Stählen illustriert : ungeschützt, elektroverzinkt und galvanisiert.

Reaktionen zwischen Stahlblech und der Zinkbeschichtung während des Schweissens 157
T. Dupuy, A. Clad, Y. Bienvenue

Während des Schweisens eines zinkbeschichteten Stahlblechs kann der thermische Zyklus Reaktionen der Legierungsbildung und/oder der Diffusion zwischen Stahl und Zink auslösen. Diese Reaktionen entwickeln sich mehr oder weniger je nach der Art der Beschichtung (verzinkt, elektroverzinkt, « galvannealed »), wodurch die chemische Angriffbarkeit der Beschichtung durch seine Umgebung, z.B. durch Kupferelektroden beim Punktschweissen, bestimmt wird.

Mechanisches Verhalten geschweisster Strukturen mit Rissen : Berücksichtigung des « mismatch-Effektes » 167
P. Hornet

Die Analyse der Schädlichkeit einer Fehlstelle in einer Schweissung oder deren Umgebung erfordert die Berücksichtigung der mechanischen Eigenschaften der verschiedenen Werkstoffe, aus denen

die Schweissung besteht, und besonders der Wirkung der verschiedenen Dehngrenzen, was als « mismatch-Effekt » bezeichnet wird. Dieser Bericht schlägt eine Synthese der seit mehreren Jahren von der Electricité de France zu diesem Thema durchgeführten Untersuchungen in Zusammenhang mit verschiedenen französischen und internationalen Arbeiten vor.

Haltbarkeit von nichtrostenden Stählen gegenüber zyklischer Oxidation. Anwendung auf das Auspuffsystem 177
L. Antoni, B. Baroux

Eine Reihe nichtrostender austenitischer und ferritischer Stähle, Ti- und/oder Nb-stabilisiert, wurde in Bezug auf die zyklische Oxidation an Luft zwischen 850 und 950°C beschrieben, mit dem Ziel einer Anleitung für die Verwender, zur Werkstoffauswahl für die heissen Teile einer Autoauspuffleitung. Der thermische Zyklus wurde den tatsächlichen Betriebsbedingungen möglichst angenähert. Er ermöglichte ebenso den Einfluss der Abblätterserscheinungen auf die Temperaturbeständigkeit zu bestätigen. Aufgrund der geringeren thermischen Ausdehnungskoeffizienten zeigen die nichtrostenden stabilisierten ferritischen Stähle ein ausgezeichnetes Verhalten. Die Ergebnisse weisen ebenfalls auf die Bedeutung der Art des Stabilisators (Ti, Nb) und seiner Konzentration für die Haltbarkeit unter zyklischer Oxidation dieser Sorten hin.

Wirkung des Zusatzes von anorganischen Verbindungen auf das Korrosionsverhalten der Aluminium-Legierung 3003 in chloridhaltiger Umgebung 189
L. Bazzi, R. Salghi, A. Bouchart, Z. El Alami, S. Kertit

Die Korrosionshemmung einer Aluminium-Legierung 3003 durch Li⁺, Mg²⁺, MoO₄²⁻, NO₂⁻ und CrO₄²⁻ wurde in einer 3 % NaCl-Lösung untersucht. Die im Verlauf dieser Untersuchung angewandten Methoden sind der Verlauf der Polarisationskurven und die metallografische Untersuchung des Oberflächenzustandes. Die erhaltenen Ergebnisse zeigen, dass die geprüften Ionen den Korrosionsprozess hemmen. Die vergleichende Untersuchung der Wirkung dieser Ionen zeigt, dass es die Mg²⁺-Ionen sind, die die beste Wirkung im Temperaturintervall von 25° bis 65°C haben. Die inhibierende Wirkung nimmt mit der Konzentration dieser Ionen zu und erreicht den Wert von 86 % bei 5.10⁻² M. Die Anwesenheit der Mg²⁺-Ionen hat auch die Wirkung, die Empfindlichkeit der Legierung 3003 auf Lochfrasskorrosion zu verringern. Dies lässt sich durch die Vergrößerung des Abstandes zwischen den Potentialen für Löcher und für allgemeine Korrosion erklären. Bei 75°C fördern die Mg²⁺-Ionen die Korrosion der Legierung 3003 in dem untersuchten Milieu.

Kurze Mitteilung : Chemische oder elektrochemische Korrosion ? 199
J.-L. Crolet