

## FRANÇAIS

**Apports des modèles de transition d'échelles à l'analyse des contraintes par diffraction ..... 1137**  
M. François

Le présent article tente d'établir un état de l'art des relations entre l'analyse expérimentale des contraintes internes par diffraction et les modèles de transition d'échelle. On montre que, si tout se passe bien en élasticité, il reste beaucoup à explorer dans le cas des sollicitations élastoplastiques pour arriver à une formulation cohérente des notions développées dans les deux domaines.

**Détermination des contraintes internes dans une couche de zircone par diffraction des rayons X et par une approche micromécanique : influence de l'anisotropie thermoélastique ..... 1151**  
J.-L. Béchade, R. Brenner, P. Goudeau, M. Gailhanou

La détermination des contraintes résiduelles et l'identification des phases sur des couches de zircone obtenues après oxydation de tôles en Zr-4 et Zr-1%Nb-O ont été réalisées avec le rayonnement synchrotron en diffraction des rayons X à 20 et 400°C. La confrontation de ces analyses avec des calculs utilisant une approche micromécanique en thermoélasticité linéaire ainsi qu'une approche plus macroscopique des contraintes d'origine thermique confirme le faible effet du refroidissement sur les contraintes résiduelles présentes dans la zircone, notamment pour le Zr-1%Nb-O.

**Effet d'une déformation plastique uniaxiale sur les contraintes mésoscopiques dans les métaux hexagonaux ..... 1157**  
D. Gloaguen, M. François, R. Guillen, J. Royer

Un modèle autocohérent élastoplastique a été développé pour étudier et analyser le comportement d'échantillons de zirconium 702 laminés soumis à une sollicitation mécanique. Les contraintes résiduelles d'origine thermique, induites par le refroidissement de la température de recuit à la température ambiante, ont été déterminées et comparées aux résultats obtenus par diffraction de RX. Le comportement élastoplastique du Zr lors de tractions uniaxiales suivant la direction de laminage et la direction transverse a été simulé et confronté aux résultats expérimentaux. Le rôle de la texture et de la présence des contraintes thermiques sur la réponse du matériau a pu alors être étudié et expliqué.

**Contraintes résiduelles dans des cermets alumine-chrome : étude micromécanique et analyse par diffraction des rayons X ..... 1163**  
G. Geandier, P. Weisbecker, S. Denis, A. Hazotte, A. Mocellin, J.-L. Lebrun, E. Elkaim

Dans cette étude, nous présentons une analyse des contraintes résiduelles produites lors du refroidissement de composites  $Al_2O_3$ -Cr en utilisant une approche micromécanique par la méthode des éléments finis. Les champs de contraintes résiduelles sont calculés pour un modèle de microstructure bidimensionnel issu d'une image de microscopie à balayage. Les résultats obtenus montrent en particulier que les particules présentant des formes concaves

peuvent produire des déformations plastiques locales relativement élevées et des distributions de contraintes résiduelles dans la matrice adjacente, très différentes par comparaison avec des particules de forme sphérique. Nous présentons également la détermination des contraintes résiduelles en utilisant le rayonnement synchrotron du LURE. Nous montrons la faisabilité des mesures. Les résultats de contrainte moyenne dans les phases alumine et chrome sont analysés.

**Hétérogénéité intra-phase des contraintes dans les modèles micro-macro : lien avec les mesures par diffraction ..... 1173**  
R. Brenner, N. Letouzé, J.L. Béchade, O. Castelnau

Les méthodes d'homogénéisation sont d'un apport considérable pour l'interprétation des mesures de position et de forme de raies de diffraction. L'utilisation de modèles auto-cohérents se généralise, mais l'exploitation de l'information donnée par ces modèles, dont on montre le lien fort avec les mesures de diffraction, reste incomplète actuellement. On montre en particulier que l'hétérogénéité intra-phase des déformations doit, dans certains cas, pouvoir se comparer avec les largeurs de raies.

**Étude du comportement mécanique du zirconium 702 $\alpha$  en fonction de la texture déterminée par diffraction des rayons X ..... 1179**  
H. Francillette, A. Gavrus, J.-L. Béchade

Une relation phénoménologique est proposée pour décrire le comportement mécanique du zirconium 702 $\alpha$  polycristallin déformé en compression plane à la température ambiante. L'identification des paramètres du modèle à partir des courbes contrainte vraie - déformation vraie déterminées expérimentalement indique une bonne description de l'anisotropie du matériau. L'analyse des paramètres identifiés montre le rôle joué par les mécanismes de déformation activés dans les différents échantillons étudiés.

**Influence d'une microstructure biphasée sur les CER et l'analyse des contraintes par DRX ..... 1186**  
S. Fréour, D. Gloaguen, M. François, R. Guillen

Les Constantes Élastiques Radiocristallographiques (CER) dépendent de l'état de biphasage d'un système, c'est-à-dire de la nature et de la proportion de chacune des phases présentes dans le matériau. Or, les CER jouent un rôle primordial dans les méthodes de détermination des contraintes pseudo-macroscopiques par Diffraction des Rayons X (DRX). Des modèles de calcul micro-mécaniques ont été développés, afin d'effectuer le calcul des CER au sein de divers matériaux biphasés. Ceci a rendu possible l'analyse quantitative des effets exercés par le biphasage sur le résultat d'une analyse de contrainte par DRX.

**Modèles physiques de formation de microporosité lors de l'élaboration de CMM par imprégnation ..... 1193**  
M. Danis, O. Mantoux, É. Lacoste

L'imprégnation d'une préforme fibreuse par un métal liquide est une des techniques utilisées pour obtenir des matériaux composites à matrice métallique (CMM). L'élaboration par imprégnation est toutefois susceptible d'engendrer des défauts parmi lesquels la

microporosité. Les micropores présents dans les CMM résultent de deux phénomènes qui se superposent : piégeage de gaz par capillarité lors de la phase d'infiltration, et apparition de volume supplémentaire de microporosité liée au retrait de solidification. Ces deux mécanismes de formation de la microporosité sont analysés dans ce travail, et des modèles physiques sont proposés pour les décrire. On rappelle ensuite brièvement comment l'apparition de la microporosité peut être simulée numériquement en se fondant sur ces modèles. Enfin, des perspectives sont évoquées pour améliorer la simulation numérique des procédés d'élaboration des CMM par imprégnation.

**L'effet de l'addition des métaux terres rares et de la surchauffe sur la microstructure et les propriétés mécaniques de l'alliage d'aluminium A319** ..... 1203  
 A. Saoudi, F.H. Samuel, A.M. Samuel, H.W. Doty

Le but de cette recherche est d'étudier l'effet de certains paramètres métallurgiques tels que l'addition d'un mélange de terres rares (mischmetal) et la surchauffe sur la microstructure et les propriétés mécaniques de traction de l'alliage Al-Si-Cu A319.2 contenant 0,4, 0,8 et 1,2 % en fer. La nouvelle phase liée au mischmetal, en forme d'aiguilles et/ou de plaquettes comme la phase  $\beta$ -Fe, bloque le métal liquide durant la coulée et forme des porosités. Le traitement thermique T6 ne modifie pas les différents types de particules présents dans la microstructure. Les propriétés mécaniques de traction des alliages à 0,8 % de fer se détériorent lorsque la concentration en mischmetal et la température de surchauffe augmentent. Dans les alliages à 1,2 % de fer, on constate une légère diminution de la longueur de la phase  $\beta$  et du mischmetal par rapport aux alliages à 0,4% Fe et 0,8% Fe lorsque la concentration en mischmetal passe à 5 % et la température de surchauffe augmente à 950°C. Ceci explique l'amélioration du pourcentage de déformation pour l'alliage 1,2 % Fe-5 % mischmetal coulé à 750 et 950°C. La limite de rupture et la limite d'élasticité se dégradent avec le mischmetal mais s'améliorent légèrement avec la surchauffe, seul l'alliage à 1,2%Fe-0% mischmetal voit sa limite d'élasticité diminuer une fois surchauffé à 950°C.

**Modélisation des processus d'aimantation dans les nanocristallins : de la théorie à l'expérience** ..... 1213  
 O. Geoffroy, I. Fratila, J.-L. Porteseil, T. Waeckerlé

Nous étudions expérimentalement les phénomènes de multiplication de parois de Bloch sous l'effet des courants induits générés lors de cycles d'aimantation à fréquence élevée pour mesurer l'anisotropie effective dans les matériaux nanocristallins ultra-doux et tester le modèle de l'anisotropie aléatoire, très généralement utilisé pour expliquer leurs exceptionnelles propriétés de perméabilité. Pour la première fois, l'observation directe de la multiplication est réalisée et les anisotropies effectives déduites mettent en évidence l'importance de l'anisotropie induite sur l'anisotropie effective.

**Étude comparative de la résistance à la corrosion de deux alliages d'aluminium 3003 et 6063 en milieu chloruré** ..... 1227  
 L. Bazzi, R. Salghi, Z. El Alami, E. Ait Addi, S. El Issami, S. Kertit, B. Hammouti

L'étude comparative de la résistance à la corrosion de deux alliages d'aluminium 6063 et 3003 est réalisée dans une solution de chlorure de sodium à 0,5 M. Les résultats obtenus par emploi des techniques électrochimiques et métallographiques montrent que l'alliage 6063 est plus résistant que l'alliage 3003 à 25°C. La vitesse de corrosion a tendance à augmenter lorsqu'on s'éloigne du pH neutre du milieu. La diminution de la concentration en chlorures améliore la résistance à la piqûre des deux alliages. L'étude de l'effet de la température du milieu sur le comportement des deux alliages montre que pour

l'alliage 3003, la vitesse de corrosion ( $I_{cor}$ ) croît avec la température jusqu'à 55°C. À 65°C,  $I_{cor}$  chute pour atteindre la valeur mesurée à 25°C. Dans le cas de l'alliage 6063,  $I_{cor}$  décroît avec l'augmentation de la température jusqu'à 65°C. Pour toutes les températures d'essai, l'alliage 6063 présente une meilleure résistance à la corrosion que l'alliage 3003.

## ENGLISH

**Scale transition models and X-ray stress analysis** ..... 1137  
 M. François

In the present paper, a synthesis of the relations between diffraction stress analysis and multiscale modelling is presented. It is found that, although models give good qualitative and quantitative results in the elastic field, the extension to internal stresses of elastic-plastic origin remains semi-quantitative and many studies are still required to obtain a consistent formulation between diffraction and modelling.

**Determination of residual stresses in a zirconia layer by X-ray diffraction and by a micromechanical approach : thermoelastic anisotropy effect** ..... 1151  
 J.-L. Béchade, R. Brenner, P. Goudeau, M. Gailhanou

The determination of residual stresses and the analysis of phases in zirconia layers obtained after oxidation of Zy-4 and Zr-1%Nb-O sheets have been performed using X-ray diffraction with synchrotron radiation at 20 and 400°C. These experimental analyses have been compared with calculations using a micromechanical approach (thermoelastic behaviour) and also with a macroscopic approximation of the thermal stress due to cooling. The main result is the small influence of cooling on the residual stresses developing in the zirconia layer, especially for Zr-1%Nb-O.

**Mesoscopic residual stresses in hexagonal alloys after uniaxial tensile test** ..... 1157  
 D. Gloaguen, M. François, R. Guillen, J. Royer

A self-consistent elastic-plastic model has been developed for the analysis of the behaviour of rolled samples of zirconium 702 during mechanical loading. The thermal residual stresses produced by cooling from the annealing temperature to room temperature have been determined and compared to X-ray diffraction results. The elastoplastic behaviour of zirconium in tensile tests along the rolling and transverse directions has been simulated and compared to the experimental results. The influence of texture and of existing thermal stresses on the response of the material could be studied and explained by this approach.

**Residual stresses in alumina-chromium composites : micromechanical analysis and study by X-ray diffraction** ..... 1163  
 G. Geandier, P. Weisbecker, S. Denis, A. Hazotte, A. Mocellin, J.-L. Lebrun, E. Elkaim

In this study, we present an analysis of the internal stresses generated during cooling of alumina-chromium composites using a micromechanical approach by a finite element method. Residual stress fields are calculated for microstructural models derived from a scanning electron microscope image. Results show in particular that particles with concave shapes can generate relatively high local plastic deformation and residual stress distributions in the adjacent matrix that are very different from those of particles with a spherical

shape. We present also the experimental determination of residual stresses using synchrotron radiation from LURE. We show that measurements are possible and the results concerning the mean stresses in the alumina and chromium phases are analyzed.

**Intra-phase heterogeneity of stresses in micro-macro models : link with X-ray diffraction measurements ..... 1173**  
R. Brenner, N. Letouzé, J.L. Béchade, O. Castelnau

Homogeneity methods are very helpful in the interpretation of X-ray line shift and broadening. The use of self-consistent models becomes general, but the information given by these models, which is shown to be strongly linked with diffraction measurements, can not yet be completely exploited. It is in particular shown that the intra-phase heterogeneity of strains should in certain cases be reflected by the line broadening behaviour.

**Study of the mechanical behaviour of zirconium 702 $\alpha$  in correlation with the texture determined by X-ray diffraction ..... 1179**  
H. Francillette, A. Gavrus, J-L. Béchade

A phenomenological relation is proposed for the description of the mechanical behaviour of Zr 702 $\alpha$  polycrystalline samples deformed in channel die compression at room temperature. The identification of the parameters of the model from macroscopic stress-strain curves shows a good description of the anisotropy of the material. The analysis of the identified parameters shows the role of the activated deformation modes in the different samples.

**Influence of a two-phase microstructure on XEC and XRD stress analysis ..... 1185**  
S. Fréour, D. Gloaguen, M. François, R. Guillén

In multiphase materials, X-Ray Elasticity Constants (XEC) depend on the nature and volume fraction of each phase constituting the polycrystal. These XEC play a leading role during X-Ray diffraction stress analysis. Self-consistent scale transition models have been developed in order to simulate the XEC characteristics of several two-phase alloys. This work makes possible the quantitative study of the influence of the second phase on the results of X-Ray stress analysis.

**Physical models of microporosity formation during MMC fabrication ..... 1193**  
M. Danis, O. Mantaux, É. Lacoste

The impregnation of a fibrous preform by a liquid metal is one of the techniques used to prepare metal matrix composites (MMC). The preparation by impregnation may however lead to defects like microporosity. The micropores present in MMC result from the superposition of two processes : the trapping of gas by capillarity during the infiltration phase and the formation of additional porosity related to solidification shrinkage. These two processes are analyzed in this paper and physical models are proposed for their description. It is then shown how the formation of microporosities can be simulated numerically using these models. Finally, prospects for a better numerical simulation of the preparation of MMC by impregnation are discussed.

**Influence of the addition of rare earth metals and of overheating on microstructure and mechanical properties of aluminium alloy A319 ..... 1203**  
A. Saoudi, F.H. Samuel, A.M. Samuel, H.W. Doty

This study concerns the influence of certain metallurgical factors, like the addition of a mixture of rare earth metals (mischmetal) and of overheating, on the microstructure and the tensile properties of alloy

A319-2 (Al-Si-Cu with 0.4, 0.8 and 1.2 % iron) The new phase linked with mischmetal has a needle – and/or platelet – shape as the  $\beta$ -iron phase and impedes the flow of the liquid metal during casting, thus creating porosity. The different types of particles present in the microstructure remain after the T6 thermal treatment. In the alloys containing 1.2 % iron, the length of the  $\beta$  phase and mischmetal particles is slightly smaller than in the alloys with 0.4 % Fe or 0.8 % Fe, after the addition of 5 % mischmetal and overheating at 950°C. This explains the better tensile elongation of the 1.2%Fe-5% mischmetal alloy cast at 950°C instead of 750°C. UTS and yield strength are decreased by the addition of mischmetal but are slightly improved by overheating. Overheating at 950°C decreases the yield strength only in the 1.2% Fe-0% mischmetal alloy.

**Modelling of magnetization mechanisms in nanocrystalline alloys : from theory to experiment ..... 1213**  
O. Geoffroy, I. Fratila, J.-L. Porteseil, T. Waeckerlé

The multiplication of magnetic domain walls under the effect of induced currents developed during high frequency magnetization loops is experimentally investigated in ultra-soft nanocrystalline alloys in order to determine the effective anisotropy and to check the predictions of the Random Anisotropy Model used to explain their extreme softness. For the first time, direct observation of multiplication is achieved and resulting effective anisotropy determinations underline the importance of induced anisotropy upon effective anisotropy.

**Comparative study of corrosion resistance for 6063 and 3003 aluminium alloys in chloride medium ..... 1227**  
L. Bazzi, R. Salghi, Z. El Alami, E. Ait Addi, S. El Issami, S. Kertit, B. Hammouti

The corrosion resistance of two aluminium alloys, 6063 and 3003, has been compared using a 0.5 M sodium chloride solution. The results obtained with electrochemical and metallographic techniques show that alloy 6063 is more resistant than alloy 3003 at 25°C. The corrosion rate tends to increase as the pH deviates from neutrality. When the chloride concentration is decreased, the resistance to pitting corrosion is improved for both alloys. The influence of the temperature of the medium on the behaviour of the two alloys has also been studied. In the case of alloy 3003, the corrosion rate ( $I_{cor}$ ) increases with temperature up to 55°C, but drops back to its room temperature value at 65°C. In the case of alloy 6063,  $I_{cor}$  decreases as temperature is raised up to 65°C. At all testing temperatures, the 6063 alloy has a better corrosion resistance than the 3003 alloy.

**DEUTSCH**

**Beitrag von Modellen für den Maßstabsübergang bei der Spannungsanalyse durch Röntgen Beugung ..... 1137**  
M. François

Der vorliegende Bericht versucht den Stand der Technik über den Zusammenhang zwischen der experimentellen Bestimmung von Eigenspannungen mittels Beugung und den Modellen für den Maßstabsübergang aufzustellen. Es wird gezeigt, dass, weil alles im elastischen Bereich gelöst ist, es noch viel im Fall von elasto-plastischen Beanspruchungen zu erforschen gibt, um zu einer kohärenten Formulierung der Vorstellungen zu gelangen, die in beiden Bereichen entwickelt werden.

**Bestimmung von Eigenspannungen in einer Schicht von Zirkoniumdioxid mittels Röntgenstrahlbeugung und einer mikromechanischen Näherung : Einfluss der thermoelastischen Anisotropie ..... 1151**

J.-L. Béchade, R. Brenner, P. Gaithanou

Die Bestimmung der Eigenspannungen und die Identifizierung der Phasen in Schichten von Zirkoniumdioxid, die nach der Oxidation von Blechen aus Zr-4 und Zr-1 %Nb-O erhalten wurden, wurde durch Röntgenstrahlbeugung mit Synchrotronstrahlung bei 20 und 400°C durchgeführt. Die Gegenüberstellung dieser Analysen mit den Berechnungen, unter Anwendung einer mikromechanischen Näherung bei linearer Thermoelastizität, sowie einer mehr makroskopischen Beschreibung der thermischen Spannungen bestätigt den schwachen Effekt der Abkühlung auf die vorhandenen Eigenspannungen im Zirkoniumdioxid, insbesondere bei Zr-1 %Nb-O.

**Wirkung einer einachsigen plastischen Verformung auf die mesoskopischen Spannungen in hexagonalen Metallen .... 1157**

D. Gloaguen, M. François, R. Guillen, J. Royer

Ein autokohärentes elastoplastisches Modell wurde entwickelt, um das Verhalten von gewalzten Proben aus Zirkonium 702, die einer mechanischen Beanspruchung unterworfen wurden, zu untersuchen und zu analysieren. Die Eigenspannungen thermischen Ursprungs, induziert durch die Abkühlung von Glüh- auf Raumtemperatur, wurden bestimmt und mit den Ergebnissen verglichen, die durch Röntgenstrahlbeugung erhalten wurden. Das elastoplastische Verhalten des Zirkoniums während einachsigen Zugbeanspruchungen in Walz- und Querrichtung wurde simuliert und den Versuchsergebnissen gegenübergestellt. Der Einfluss der Textur und der vorhandenen thermischen Spannungen auf das Verhalten des Werkstoffs konnte so untersucht und erklärt werden.

**Eigenspannungen in Aluminiumoxid-Chrom-Metallkeramiken : Mikromechanische Untersuchung und Analyse mittels Röntgenstrahlbeugung ..... 1163**

G. Geandier, P. Weisbecker, S. Denis, A. Hazotte, A. Mocellin, J.-L. Lebrun, E. Elkaim

In dieser Untersuchung wird eine Analyse der Eigenspannungen vorgestellt, die während der Abkühlung von Verbundwerkstoffen aus  $Al_2O_3$ -Cr erzeugt wurden, unter Anwendung einer mikromechanischen Näherung mit der Methode der finiten Elemente. Die Eigenspannungsfelder wurden für ein Modell zweidimensionaler Mikrostruktur berechnet, das aus einer Aufnahme der Rasterelektronenmikroskopie stammte. Die erhaltenen Ergebnisse zeigen insbesondere, dass die Teilchen, die konkave Formen aufweisen, relativ hohe lokale plastische Verformungen verursachen können und die Verteilungen der Eigenspannungen in der umgebenden Grundmasse sehr verschieden sind im Vergleich mit den Teilchen runder Form. Ebenso wird die Bestimmung der Eigenspannungen unter Anwendung der Synchrotronstrahlung des LURE dargelegt. Die Durchführbarkeit der Messungen wird vorgestellt. Die Ergebnisse der Mittelspannung in den Aluminiumoxid- und Chromphasen wurden analysiert.

**Intraphasen-Heterogenität der Eigenspannungen in Mikro-Makro-Modellen : Zusammenhang mit Beugungsmessungen ..... 1173**

R. Brenner, N. Letouzé, J.-L. Béchade, O. Castelnau

Die Verfahren der Homogenisierung tragen wesentlich zur Interpretation der Messungen von Position und Form der Beugungslinien bei. Die Anwendung autokohärenter Modelle

verbreitet sich, aber die Auswertung der durch diese Modelle gelieferten Information, aus der der starke Zusammenhang mit den Beugungsmessungen ersichtlich ist, ist zur Zeit noch unvollständig. Insbesondere wird gezeigt, dass sich die Intraphasen-Heterogenität der Verformungen in bestimmten Fällen mit der Linienbreite vergleichen lässt.

**Untersuchung des mechanischen Verhaltens von Zirkonium 702 $\alpha$ , in Abhängigkeit von der durch Röntgenstrahlbeugung bestimmten Textur ..... 1179**

H. Francillette, A. Gavrus, J.-L. Béchade

Ein phänomenologischer Zusammenhang wird für die Beschreibung des mechanischen Verhaltens von unter ebenem Druck bei Raumtemperatur verformtem polykristallinem Zirkonium 702 $\alpha$  vorgeschlagen. Die Identifizierung der Parameter des Modells, ausgehend von den experimentell bestimmten Kurven wahre Spannung-wahre Verformung deutet auf eine gute Beschreibung der Anisotropie des Werkstoffs hin. Die Analyse der identifizierten Parameter zeigt den Einfluss, den die aktivierten Verformungsmechanismen in den verschiedenen untersuchten Proben spielen.

**Einfluss einer zweiphasigen Mikrostruktur auf die CER und die Spannungsanalyse mittels DRX ..... 1185**

S. Fréour, D. Gloaguen, M. François, R. Guillen

Die radiokristallografisch bestimmten elastischen Konstanten (CER) hängen vom zweiphasigen Zustand eines Systems ab, d. h. von der Art und vom Verhältnis jeder einzelnen im Werkstoff anwesenden Phase. Andererseits spielen die CER eine vorherrschende Rolle bei den Methoden zur Bestimmung der pseudo-makroskopischen Spannungen mittels Röntgenstrahlbeugung (DRX). Mikromechanische Berechnungsmodelle wurden mit dem Ziel entwickelt, die Berechnung der CER im Fall verschiedener zweiphasiger Werkstoffe durchzuführen. Dies hat die quantitative Analyse der Effekte, die die Zweiphasigkeit auf das Ergebnis einer Spannungsanalyse mittels DRX ausübt, ermöglicht.

**Physikalisches Modell für die Entstehung von Mikroporosität während der Herstellung von CMM durch Imprägnierung 1193**

M. Danis, O. Mantaux, E. Lacoste

Die Imprägnierung einer faserhaltigen Vorform mit einem flüssigen Metall ist eine der angewendeten Techniken, um Verbundwerkstoffe mit metallischer Grundmasse (CMM) zu erhalten. Die Herstellung durch Imprägnierung kann manchmal zu Fehlern führen, darunter die Mikroporosität. Die in CMM vorhandenen Poren resultieren aus zwei sich überlagernden Erscheinungen : dem Einfangen des Gases infolge Kapillarität während der Infiltrationsphase, und dem Auftreten zusätzlicher Mikroporosität in Verbindung mit der Schwindung beim Erstarren. Diese zwei Mechanismen der Entstehung von Mikroporosität werden in diesem Bericht analysiert und physikalische Modelle für ihre Beschreibung sind vorgeschlagen. Es wird dann kurz gezeigt wie die Entstehung von Porosität numerisch simuliert werden kann mit diesen Modellen. Zuletzt sind Aussichten angegeben für eine bessere numerische Simulation der Herstellungsverfahren von CMM Werkstoffen durch Imprägnierung.

**Einfluss des Zusatzes von seltenen Erden und einer Überhitzung auf das Mikrogefüge und die mechanischen Eigenschaften der Aluminium Legierung A319 ..... 1203**

A. Saoudi, F.H. Samuel, A.M. Samuel, H.W. Doty

Diese Untersuchung hat zum Ziel den Einfluss von verschiedenen metallurgischen Parameter, wie dem Zusatz einer Mischung von seltenen Erden (Mischmetall) und einer Überhitzung, auf das



Mikrogefüge und die Zugeigenschaften der Al-Si-Cu Legierung A319.2 zu bestimmen. Diese Legierung enthält 0,4, 0,8 oder 1,2 % Eisen. Die mit dem Mischmetall gebildete Phase, in Nadel oder Plättchen Form, verhindert das Fließen des Metalls beim Guss und verursacht Porosität. Die verschiedenen Teilchen Typen, die im Mikrogefüge vorhanden sind, werden durch die T6 Wärmebehandlung nicht abgeändert. Die Zugeigenschaften der Legierungen mit 0,8 % Eisen werden schlechter, wenn sich die Konzentration an Mischmetall und die Überhitzungstemperatur erhöhen. In den Legierungen mit 1,2 % Fe stellt man eine leichte Verringerung der Ausdehnung der  $\beta$ -Phase und des Mischmetalls im Verhältnis zu den Legierungen mit 0,4 und 0,8 % Fe fest, wenn die Konzentration an Mischmetall 5 % erreicht und sich die Überhitzungstemperatur auf 950°C erhöht. Dies erklärt die Verbesserung des Verformungsgrades (Prozent) bei der Legierung mit 1,2%Fe-5%Mischmetall, die bei 750 und 950°C gegossen wurde. Die Bruchfestigkeit und die Streckgrenze erniedrigen sich mit dem Mischmetall, aber verbessern sich leicht mit der Überhitzung ; nur die Legierung mit 1,2%Fe-0%Mischmetall zeigt eine abnehmende Streckgrenze nach einmaliger Überhitzung auf 950°C.

**Modellierung des Magnetisierungsprozesses in Nanokristallen : von der Theorie zur Erprobung ..... 1213**  
 O. Geoffroy, I. Fratila, J.-L. Porteseil, T. Waeckerlé

Die Erscheinungen der Vervielfachung der Bloch'schen Wände unter der Wirkung induzierter Ströme, die während Magnetisierungszyklen hoher Frequenz erzeugt wurden, wurde experimentell untersucht, um die effektive Anisotropie in ultra-weichen nanokristallinen Werkstoffen zu messen und das Modell der regellosen Anisotropie, das allgemein zur Erklärung ihrer aussergewöhnlichen Permeabilitätseigenschaften angewendet ist, zu überprüfen. Zum ersten Mal wurde die direkte Beobachtung der Vervielfachung realisiert und die daraus abgeleiteten effektiven Anisotropien zeigen den bedeutenden Beitrag der induzierten Anisotropie zur effektiven Anisotropie.

**Vergleichende Untersuchung der Korrosionsfestigkeit der zwei Aluminium-Legierungen 3003 und 6063 in chloridhaltiger Umgebung ..... 1227**  
 L. Bazzi, R. Salghi, Z. El Alami, E. Ait Addi, S. El Issami, S. Kertit, B. Hammouti

Die vergleichende Untersuchung der Korrosionsfestigkeit der zwei Aluminium-Legierungen 6063 und 3003 wurde in einer Natriumchlorid-Lösung von 0,5 M durchgeführt. Die unter Anwendung elektrochemischer und metallografischer Techniken erhaltenen Ergebnisse zeigen, dass bis 25°C die Legierung 6063 korrosionsfester ist als die Legierung 3003. Die Korrosionsgeschwindigkeit hat die Tendenz zuzunehmen, wenn man sich vom neutralen pH der Lösung entfernt. Die Verringerung der Chloridkonzentration erhöht den Korrosionswiderstand gegen Lochfrass bei beiden Legierungen. Die Untersuchung des Temperatureinflusses der Lösung auf das Verhalten der zwei Legierungen zeigt für die Legierung 3003, dass die Korrosionsgeschwindigkeit ( $I_{cor}$ ) mit der Temperatur bis 55°C zunimmt und bei 65°C ( $I_{cor}$ ) abfällt, um den bei 25°C gemessenen Wert zu erreichen. Im Fall der Legierung 6063 nimmt  $I_{cor}$  mit der Erhöhung der Temperatur bis 65°C ab. Bei allen Versuchstemperaturen zeigt die Legierung 6063 einen besseren Korrosionswiderstand als die Legierung 3003.

**ESPAÑOL**

**Aporte de modelos de transición de escalas al análisis de tensiones por difracción ..... 1137**  
 M. François

El presente artículo tiende a establecer un estado del arte de las relaciones entre el análisis experimental en las tensiones internas por difracción y los modelos de transición de escala. Se muestra que si todo pasa bien en elasticidad, queda mucho por explorar en el caso de sollicitaciones elastoplásticas para llegar a una formulación coherente desarrollada en los dos campos.

**Determinación de las tensiones internas en una capa de zirconio por difracción de rayos X y por una aproximación micromecánica : influencia de la anisotropía termoelástica ..... 1151**  
 J.-L. Béchade, R. Brenner, P. Goudeau, M. Gailhanou

La determinación de las tensiones residuales y la identificación las fases sobre las capas de zirconio después de la oxidación de chapas de Zr-1%Nb-O han sido realizados con la radiación sincrotrón de difracción de rayos X a 20 y 400°C. La confrontación de estos análisis con los cálculos utilizando una aproximación micromecánica en termoplasticidad lineal así como una aproximación más macroscópica de las tensiones de origen térmico confirma el débil efecto del enfriamiento sobre las tensiones residuales presentes en el zirconio, especialmente para el Zr-1%Nb-O.

**Efecto de una deformación plástica uniaxial sobre las tensiones mesoscópicas en los metales hexagonales ..... 1157**  
 D. Gloaguen, M. François, R. Guillen, J. Royer

Un modelo autocohérente elastoplástico ha sido desarrollado para estudiar y analizar el comportamiento de muestras de zirconio 702 laminadas sometidas a una sollicitación mecánica. Las tensiones residuales de origen térmico, inducidas por el enfriamiento de la temperatura de recocido a la temperatura ambiente, han sido determinadas y comparadas con los resultados obtenidos por difracción de los RX. El comportamiento elastoplástico del Zr a partir de tracciones uniaxiales siguiendo la dirección del laminado y la dirección transversal ha sido simulada y confrontada con los resultados experimentales. El papel de la textura y de la presencia de las tensiones térmicas sobre la respuesta del material ha podido ser entonces estudiado y explicado.

**Tensiones residuales en composites aluminio-cromo, estudio micromecánico análisis por difracción de rayos X ..... 1163**  
 G. Geandier, P. Weisbecker, S. Denis, A. Hazotte, A. Mocellin, J.-L. Lebrun, E. Elkaim

En este estudio, presentamos un análisis de las tensiones residuales producidas a partir del enfriamiento de los composites  $Al_2O_3$ -Cr utilizando una aproximación micromecánica por el método de elementos finitos. Los campos de tensiones residuales son calculados por un modelo de microestructura bidimensional de una imagen de microscopía de barrido. Los resultados obtenidos muestran en particular que las partículas presentan formas cóncavas que pueden generar deformaciones plásticas locales relativamente elevadas y distribuciones de tensiones residuales en la matriz adyacente, muy diferentes en comparación con las partículas de forma esférica. Presentamos igualmente la determinación de las tensiones residuales utilizando la radiación sincrotrón de LURE. Se muestra la factibilidad de las medidas. Se analizan los resultados de la tensión media en las fases alúmina y cromo.

**Heterogeneidad entre fase de las tensiones en los modelos micro-macro : relación con las medidas por difracción ... 1173**  
R. Brenner, N. Letouzé, J.L. Béchade, O. Castelnaud

Los métodos de homogeneización son de un aporte considerable para la interpretación de las medidas de posición y de forma de las rayas de difracción. La utilización de modelos autocohérentes se generaliza, pero la explotación de la información dada por estos modelos, muestra la fuerte unión con las medidas de difracción, permanece actualmente incompleta. Se muestra en particular que la heterogeneidad intra-fase de las deformaciones debe, en ciertos casos, poderse comparar con las anchuras de los rayos.

**Estudio del comportamiento mecánico del zirconio 702 $\alpha$  en función de la textura determinada por difracción de los rayos X ..... 1179**  
H. Francillette, A. Gavrus, J-L. Béchade

Una relación fenomenológica se propone para describir el comportamiento mecánico del zirconio 702 $\alpha$  policristalino deformado en compresión plana a la temperatura ambiente. La identificación de los parámetros del modelo a partir de las curvas tensión verdadera-deformación verdadera determinadas experimentalmente indica una buena descripción de la anisotropía del material. El análisis de los parámetros identificados muestra el papel jugado por los mecanismos de deformación activados en las diferentes muestras estudiadas.

**Influencia de una microestructura bifásica sobre las CER y el análisis de tensiones por DRX ..... 1185**  
S. Fréour, D. Gloaguen, M. François, R. Guillen

Las constantes elásticas radiocristalográficas (CER) dependen del estado bifásico de un sistema, es decir de la naturaleza y la proporción de cada una de las fases que se presentan en el material. Ahora bien, las CER juegan un papel primordial en los métodos de determinación de las tensiones pseudomacroscópicas por difracción de rayos X (DRX). Los modelos de cálculo micromecánicos han sido desarrollados, con el fin de efectuar el cálculo de las CER en el seno de los diversos materiales bifásicos. Esto ha hecho posible el análisis cuantitativo de los efectos ejercidos por el bifaseado sobre el resultado de un análisis de tensiones por DRX.

**Modelos físicos de formación de microporosidad a partir de la elaboración de CMM por impregnación ..... 1193**  
M. Danis, O. Mantaux, É. Lacoste

La impregnación de una preforma fibrosa por un metal líquido es una de las técnicas utilizadas para obtener los materiales composites con matriz metálica (CMM). La elaboración por impregnación es a veces susceptible de engendrar defectos entre los cuales la microporosidad. Los microporos presentes en las CMM resultan de dos fenómenos que se superponen : trampa de gas por capilaridad a partir de la fase de infiltración, y aparición de un volumen suplementario de microporosidad ligado a la retracción de solidificación. Estos dos mecanismos de formación de la microporosidad son analizados en este trabajo, y se proponen modelos físicos para describirlos. Se recuerda brevemente a continuación como la aparición de la microporosidad puede simularse numéricamente basándose en estos modelos. Finalmente se evocan las perspectivas para mejorar la simulación numérica de los procesos de elaboración de los CMM por impregnación.

**Efecto de la adición de los metales de tierras raras y del sobrecalentamiento sobre la microestructura y las propiedades mecánicas de la aleación de aluminio A319 ..... 1203**  
A. Saoudi, F.H. Samuel, A.M. Samuel, H.W. Doty

El fin de esta investigación es el estudiar el efecto de ciertos parámetros metalúrgicos tales como la adición de una mezcla de tierras raras (mischmetal) y el sobrecalentamiento sobre la microestructura y las propiedades mecánicas de tracción de la aleación Al-Si-Cu A319.2 conteniendo 0,4, 0,8 y 1,2 % de hierro. La nueva fase ligada al mischmetal, en forma de agujas y/o plaquetas como la fase n-Fe, bloquea el metal líquido durante la colada y forma porosidades. El tratamiento térmico T6 no modifica los diferentes tipos de partículas presentes en la microestructura. Las propiedades mecánicas de tracción de las aleaciones con 0,8 % de hierro, se deterioran cuando la concentración en mischmetal y la temperatura de sobrecalentamiento aumentan. En las aleaciones con 1,2 % de hierro, se constata una ligera disminución de la longitud de la fase y del mischmetal con relación a las aleaciones con 0,4 y 0,8 % Fe cuando la concentración en mischmetal pasa a 5 % y la temperatura de sobrecalentamiento aumenta a 950°C. Esto explica la mejora del porcentaje de deformación para la aleación 1,2%Fe-5% mischmetal colada a 750 y 950°C. El límite de ruptura y el límite de elasticidad se degradan con el mischmetal pero mejoran ligeramente con el sobrecalentamiento, sólo la aleación con 1,2%Fe-0% mischmetal ve disminuir su límite elástico una vez sobrecalentada a 950°C.

**Modelización de los procesos de imantación en los nanocristales : de la teoría a la experiencia ..... 1213**  
O. Geoffroy, I. Fratila, J.-L. Porteseil, T. Waeckerlé

Estudiamos experimentalmente los fenómenos de multiplicación de paredes de Bloch bajo el efecto de corrientes inducidas generadas a partir de los ciclos de imantación a frecuencia elevada para mostrar la anisotropía efectiva en los materiales nanocristalinos ultra-dulces y ensayar el modelo de anisotropía aleatoria, generalmente muy utilizada para explicar sus excepcionales propiedades de permeabilidad. Por primera vez, la observación directa de la multiplicación es realizada y las anisotropías efectivas deducidas ponen en evidencia la importancia de la anisotropía inducida sobre la anisotropía efectiva.

**Estudio comparativo de la resistencia a la corrosión de dos aleaciones de aluminio 3003 y 6063 en medio clorurado ..... 1227**  
L. Bazzi, R. Salghi, Z. El Alami, E. Ait Addi, S. El Issami, S. Kertit, B. Hammouti

El estudio comparativo de resistencia a la corrosión de dos aleaciones de aluminio 6063 y 3003 está realizada en una solución de cloruro de sodio a 0,5 M. Los resultados obtenidos con el empleo de técnicas electroquímicas y metalográficas muestran que la aleación 6063 es más resistente que la aleación 3003 a 25°C. La velocidad de corrosión tiene tendencia a aumentar cuando se aleja del pH neutro del medio. La disminución de la concentración de cloruros mejora la resistencia a las picaduras de las dos aleaciones. El estudio del efecto de la temperatura del medio sobre el comportamiento de las dos aleaciones muestra que para la aleación 3003, la velocidad de corrosión ( $I_{cor}$ ) crece con la temperatura hasta los 55°C. A 65°C,  $I_{cor}$  cae para alcanzar el valor medido a 25°C. En el caso de la aleación 6063,  $I_{cor}$  decrece con el aumento de la temperatura hasta los 65°C. Para todas las temperaturas del ensayo, la aleación 6063 presenta una mejor resistencia a la corrosión que la aleación 3003.