

École doctorale n° 432 : Sciences des Métiers de l'Ingénieur

Doctorat ParisTech
T H È S E

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers
Spécialité " Mécanique-matériaux "

Wafa ELMAY

22 mars 2012

**Développement de nouveaux alliages de titane biocompatibles instables
mécaniquement à bas module d'Young**

Directeur de thèse : **Etienne PATOOR**
Co-encadrement de la thèse : **Pascal LAHEURTE**

Jury

Mme Elisabeth AEBY-GAUTIER, Directrice de Recherche CNRS, IJL, Ecole des Mines, Nancy
M. Denis FAVIER, Professeur des Universités, Laboratoire 3S-R, Université Joseph Fourier, Grenoble
M. Frédéric PRIMA, Maître de Conférences, Groupe de Métallurgie Structurale, ENSCP, Paris
M. Thierry GLORANT, Professeur des Universités, Chimie-Métallurgie, INSA, Rennes
Mme Marie-Jeanne PHILIPPE, Professeur des Universités, LEM3, Université de Lorraine, Metz
M. Etienne PATOOR, Professeur des Universités, LEM3, Arts et Métiers ParisTech, Metz
M. Pascal LAHEURTE, Maître de Conférences, LEM3, Université de Lorraine, Metz
M. Pierre BRAVETTI, Docteur en chirurgie dentaire, Directeur du pôle santé, Université de Lorraine

Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur
Directeur de
thèse
Co-directeur
thèse
Invité

DEVELOPPEMENT DE NOUVEAUX ALLIAGES DE TITANE BIOCOMPATIBLES INSTABLES MECANIQUEMENT A BAS MODULE D'YOUNG

RESUME : Les alliages de titane β -métastables biocompatibles suscitent un intérêt croissant pour les applications médicales grâce à leur comportement superélastique et/ou effet mémoire de forme, leur excellente résistance à la corrosion et leur bonne aptitude à la déformation à froid. Dans le cadre de cette thèse, un alliage superélastique Ti-26Nb et un alliage à mémoire de forme Ti-24Nb ont été élaborés en creuset froid en semi-lévitiation magnétique et ont fait l'objet d'une caractérisation approfondie sur le plan microstructural et mécanique. Les mécanismes de déformation activés lors d'une sollicitation mécanique ont été identifiés pour les deux alliages au moyen d'essais de traction couplés à des mesures in-situ en diffraction des rayons X. Une procédure d'optimisation basée sur des traitements thermo-mécaniques nano-structurants a été développée pour augmenter simultanément la résistance mécanique et la superélasticité tout en conservant un bas module élastique. Un ensemble de propriétés qui conditionne la réussite de la pose d'implant en améliorant la qualité de transfert des contraintes à l'interface os/implant. Les évolutions microstructurales à l'origine de l'optimisation de ces propriétés ont été étudiées par diffraction des rayons X, microscopie électronique à transmission et essais mécaniques. Ce travail se conclut par une introduction à la modélisation micromécanique du comportement du Ti-26Nb. Les caractéristiques cristallographiques de la transformation martensitique ont été déterminées en se basant sur la théorie de Ball et James. L'influence de l'orientation cristallographique sur le comportement mécanique des monocristaux a été étudiée.

Mots clés : transformation martensitique, mécanismes de déformation, superélasticité, module élastique, traitements nano-structurants, modélisation micromécanique.

DEVELOPMENT OF BIOCOMPATIBLE TITANIUM-BASED ALLOYS MECHANICALLY UNSTABLE WITH LOW YOUNG'S MODULUS

ABSTRACT : Biocompatible metastable β -titanium alloys have attracted much attention for biomedical applications in recent years thanks to their superelastic and/or shape memory behavior, their superior corrosion resistance and their excellent cold workability. In this present study, a superelastic Ti-26Nb alloy and a shape memory Ti-24Nb alloy were produced by the cold crucible levitation melting method. A detailed microstructural and mechanical characterization were performed. The deformation mechanisms occurring during uniaxial deformation were identified for these two alloys by coupling in situ tensile testing with X-ray diffraction measurement. An optimization route based on nanostructuring process was developed in order to enhance both strength and superelasticity while keeping a low elastic modulus. These properties are required to improve the load transfer along the bone/implant interface which is essential to the success of implants. The microstructural evolution during the thermomechanical process resulting in the optimization of properties was investigated through tensile tests, X-ray diffraction and transmission electron microscopy. The last part of this study deals with an introduction of micromechanical modeling of the Ti-26Nb behavior. The crystallographic features of the martensitic transformation were determined by applying the Ball and James theory. The influence of the crystallographic orientation on the mechanical response was investigated for tension and compression.

Keywords : martensitic transformation, deformation mechanisms, superelasticity, low elastic modulus, nano-structural treatments, micromechanical modeling.