

SOMMAIRE

CHAPITRE I : LES ALLIAGES A MEMOIRE DE FORME ET LEUR POUVOIR AMORTISSANT	17
I/ DIAGRAMMES DE CONSTITUTION DES ALLIAGES A MEMOIRE UTILISES	19
I.1/ Les alliages Cuivre-Zinc-Aluminium	19
I.2/ Les alliages Cuivre-Aluminium-Nickel	21
I.3/ Les alliages Fer-Manganese-Silicium	23
I.4/ Autres alliages à mémoire	25
II/ PHENOMENOLOGIE DE L'AMORTISSEMENT INTERNE DES ALLIAGES A MEMOIRE DE FORME	25
II.1/ Quelques rappels	25
II.2 / Principaux résultats concernant l'amortissement interne des alliages à mémoire de forme	29
II.2.1/ Mesure d'amortissement interne au MHz pendant la transformation martensitique	29
II.2.2/ Mesure de l'amortissement interne entre 1 Hz et 1 KHz	29
II.3/ Principaux mécanismes métallurgiques intervenant dans les alliages	31
II.4 / Principaux modèles phénoménologiques rencontrés dans la bibliographie.....	33
II.4.1/ Modèle de BELKO	33
II.4.2/ Modèle de DELORME	35
II.4.3/ Modèle de DE JONGHE	35
II.4.4/ Modèle de MERCIER	37
II.5/ Conclusions sur les modèles	39
III/ INFLUENCE DES FACTEURS THERMOMECHANIQUES SUR LE POUVOIR AMORTISSANT	41
III.1/ Influence des traitements thermomécaniques	41
III.2/ Influence de l'état structural initial	41
III.3/ Influence de la température	43
III.4/ Influence de l'amplitude de déformation	43
III.5/ Influence de l'état de contrainte	45
IV/ CONCLUSIONS SUR L'ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	45
CHAPITRE II : INTRODUCTION A LA PHENOMENOLOGIE DE L'AMORTISSEMENT DES CHOCS ET DES VIBRATIONS ASSOCIEES	47
I/ EXTENSION DE LA NOTION D'AMORTISSEMENT	49
II/ NOTIONS SPECIFIQUES UTILISEES EN DYNAMIQUE DES MATERIAUX	53
II.1/ Notion de choc	53
II.2/ Vitesse de déformation	55

II.3/ Difficultés d'expérimentation et d'interprétation liées aux fortes vitesses de déformation	55
II.4/ Vitesse particulaire et vitesse d'onde élasto-plastique	57
II.5/ Intervention d'autres grandeurs physiques	57
II.6/ Loi de comportement dynamique	59
II.7/ Dissipation mécanique et échauffement adiabatique	61
III/ PRINCIPALES HYPOTHESES ET METHODOLOGIE REGISSANT NOTRE ETUDE	63
III.1/ Hypothèses limitantes	63
III.2/ Méthodologie	63
CHAPITRE III : METHODES EXPERIMENTALES ET MATERIAUX ETUDIES	67
I/ METAUX ET ALLIAGES	69
I.1/ Alliages à mémoire de forme utilisés	69
I.2/ Autres métaux et alliages.....	69
II/ METHODE D'ETUDE DES STRUCTURES	69
II.1/ Prélèvement des échantillons.....	69
II.2/ Préparation des échantillons	69
II.3/ Caractérisation micrographique.....	69
II.4/ Diffraction des rayons X	71
III/ CARACTERISATION MECANIQUE CLASSIQUE	71
III.1/ Caractérisation par ultra-sons	71
III.2/ Compression quasi-statique	73
IV/ IMPACT A GRANDE VITESSE	73
IV.1/ Impact indirect sur barres d'Hopkinson	73
IV.2/ Impact direct à grande vitesse	75
V/ IMPACT A FAIBLE VITESSE : PENDULE DE CHOC	77
V.1/ Principe	77
V.2/ Dispositif expérimental	79
V.2.1/ Géométrie des éprouvettes	79
V.2.2/ Mesure des forces dans les corps d'épreuve	79
V.2.3/ Mesure de déplacement et de vitesse	81
V.2.4/ Acquisition rapide et stockage	81
V.2.5/ Caractéristiques du secteur	81
V.2.6/ Caractéristiques des disques d'inertie	81
V.2.7/ Energie initiale disponible	83
V.2.8/ Energie de rebond	83
V.2.9/ Vitesse initiale	83
V.2.10/ Application numérique	83
V.3/ Mesure de la température	85
V.4/ Calcul des caractéristiques mécaniques	85
V.4.1/ Calcul de la déformation moyenne de l'échantillon	85
V.4.2/ Calcul de la vitesse de déformation moyenne	87
V.4.3/ Calcul de la contrainte moyenne	87

CHAPITRE IV : COMPORTEMENT MECANIQUE DES METAUX ET ALLIAGES SOUS IMPACTS	89
I/ ANALYSE PHYSIQUE D'UN CHOC SUR LE PENDULE A SECTEUR	91
I.1/ Analyse cinétique	91
I.2/ Bilan des puissances instantanées.....	91
I.3/ Bilan énergétique du choc	91
I.3.1/ Bilan pendant le choc	93
I.3.3/ Bilan après le choc	93
II/ TESTS PREALABLES SUR LE CUIVRE PUR	99
II.1/ Séparation des effets purement d'origine mécanique	99
II.2/ Influence de la vitesse de déformation	101
II.3/ Influence de la vitesse de déformation à énergie d'impact constante	
III/ COMPORTEMENT D'UN ALLIAGE CuZnAl	103
III.1/ Comportement en compression quasi-statique	103
III.2/ Comportement aux moyennes et grandes vitesses de déformation	107
III.3/ Influence des conditions d'expérimentations	111
III.3.1/ Influence de la vitesse à énergie d'impact constante	111
III.3.2/ Influence de l'énergie d'impact à vitesse constante	115
III.4/ Comparaison avec le même alliage non traité	115
IV/ COMPARAISON AVEC CERTAINES NUANCES D'AUTRES FAMILLES D'AMF	123
IV.1/ L'alliage Fer-Manganèse-Silicium (FM30)	123
IV.2/ L'alliage Cuivre-Aluminium-Nickel (R225)	127
V/ TESTS COMPLEMENTAIRES SUR D'AUTRES METAUX ET ALLIAGES	133
V.1/ Comportement de deux nickels purs	133
V.2/ Comportement mécanique d'autres alliages	137
V.3/ Classement des matériaux étudiés	137
VI/ MESURE DE LA TEMPERATURE RESIDUELLE DES METAUX ET ALLIAGES APRES IMPACT	141
VII/ COMPORTEMENT COMPARATIF DE QUELQUES ALLIAGES A MEMOIRE DE FORME DANS LE CAS D'UN CHOC TRIAXIAL EN FLEXION-PERFORATION	143
CONCLUSIONS CONCERNANT LES COMPORTEMENTS MECANQUES DES METAUX ET ALLIAGES SOUS IMPACTS	147
CHAPITRE V : ASPECTS METALLURGIQUES DE L'ENDOMMAGEMENT PAR IMPACT DE L'ALLIAGE A MEMOIRE DE FORME CuZnAl	151
I/ CARACTERISATION METALLURGIQUE DU MATERIAU INITIAL	153
I.1/ Caractérisation métallographique	153
I.2/ Sensibilité de l'alliage traité aux traitements métallographiques	153
I.3/ Etude de la cinétique de transformation de l'état initial par calorimétrie	155
I.4/ Etude de l'évolution de la structure de l'état initial avec la température	157

I.4.1/ Rappel des hypothèses	157
I.4.2/ Suivi de la transformation par diffraction des rayons X	157
II/ ETUDE MORPHOLOGIQUE DE L'ENDOMMAGEMENT ENGENDRE PAR IMPACT	159
II.1/ Les microstructures martensitiques (Groupe A)	161
II.2/ Les microstructures "à défauts" (Groupe B)	165
II.3/ Observations complémentaires sur un alliage Cuivre-Aluminium-Nickel	171
III/ ETUDE STRUCTURALE DE L'ENDOMMAGEMENT	173
III.1/ Caractérisation des structures dans la plaque (L) impactée en flexion-perforation	173
III.1.1/ Etude structurale en fonction de la zone d'impact	173
III.1.2/ Influence de l'endommagement sur la cinétique de transformation en fonction de la zone d'impact	175
III.2/ Influence de l'endommagement sur l'évolution structurale en fonction de la température	181
III.2.1/ Echantillon (2) prélevé dans la plaque (L)	181
III.2.2/ Echantillon prélevé dans la plaque (G)	181
 CHAPITRE VI : PROPOSITION DE MODELES ET CRITERES EXPERIMENTAUX POUR L'AMORTISSEMENT DANS LES ALLIAGES A MEMOIRE DE FORME	 187
I/ RECHERCHE D'UN MODELE PHENOMENOLOGIQUE DE COMPORTEMENT	189
I.1/ Principe de base	189
I.2/ Recherche d'une loi de comportement mécanique	191
I.2.1/ Cas de l'alliage Cu-Zn-Al traité	191
I.2.2/ Cas de l'alliage Cu-Al-Ni traité	193
I.3/ Limites de validité des lois de comportement	193
I.3.1/ Extension du modèle au pouvoir amortissant	195
I.3.2/ Extension du modèle de comportement à la célérité élasto-plastique Cp	195
II/ PASSAGE DE LA THERMODYNAMIQUE A UNE APPROCHE THERMO-CINETIQUE DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE	199
II.1/ Description thermodynamique des comportements mécaniques	199
II.2/ Interprétation d'un diagramme de constitution des "états intermédiaires"	201
II.3/ Etude cinétique du pouvoir amortissant	203
III/ CRITERES METALLURGIQUES POUR LE POUVOIR AMORTISSANT	203
III.1/ Distribution de la martensite dans les grains	203
III.2/ Influence de la taille de grains sur le comportement mécanique	205
III.3/ Influence de la structure métallurgique initiale	205
III.4/ Une question essentielle : les premières étapes de la transformation	207
III.4.1/ L'approche classique : germination et croissance	207
III.4.2/ Une alternative : la nucléation progressive sous l'effet de vibrations de réseau	207
III.5/ Apparition de défauts localisés	209
III.5.1/ Bandes de cisaillement localisées	209
III.5.2/ Les bandes de cisaillement adiabatique.....	211

IV/ RETOUR SUR NOTRE APPROCHE GENERALE ET NOS EXPERIMENTATIONS :	
LEURS LIMITES	211
IV.1/ De l'importance d'avoir un bon capteur !	211
IV.2/ Les essais dynamiques sont essentiellement source d'hétérogénéités	213
IV.2.1/ La vitesse de déformation varie	213
IV.2.2/ Les déformations sont hétérogènes	213
IV.2.3/ Que dire des contrainte d'écoulement ?	215
IV.3/ Conséquences importantes sur la validité de nos résultats	215
IV.3.1/ Que signifie "à déformation constante ?"	215
IV.3.2/ L'endommagement du matériau est-il caractéristique ?	215
IV.4/ Retour sur la définition du pouvoir amortissant	215
CONCLUSION	221

LISTE DES ILLUSTRATIONS

BIBLIOGRAPHIE GENERALE

REFERENCES

ANNEXES

<u>ANNEXE I</u> : CARACTERISATION DES TEMPERATURES DE TRANSFORMATION	A.3
I.1/ Résistivité électrique	A.5
I.2/ Calorimétrie différentielle	A.5
<u>ANNEXE II</u> : DOSAGE DE LA MARTENSITE DES CuZnAl PAR DIFFRACTION X	A.7
II.1/ Détermination des spectres X théoriques	A.9
II.1.1/ Expression de l'intensité théorique	A.9
II.1.2/ Calcul des intensités théoriques	A.11
II.1.2.1/ Facteur de diffusion atomique	A.11
II.1.2.2/ Facteur de multiplicité	A.11
II.1.2.3/ Facteur de structure	A.11
II.1.2.4/ Facteur de température	A.13
II.1.3/ Résultats des spectres théoriques	A.15
II.2/ Traitement numériques des spectres expérimentaux	A.21
II.2.1/ Déconvolution des spectres	A.21
II.2.2/ Choix de la forme des pics standard	A.21
II.2.3/ Précision numérique des calculs	A.21
II.2.4/ Cas des pics "saturés"	A.23
II.3/ Identification des structures et de leurs pics respectifs	A.23
II.4/ Méthodes de dosage de phase	A.23
II.4.1/ Méthode des pics résolus	A.23

II.4.2/ Méthode des pics couplés	A.23
II.4.3/ Méthode de la "référence interne"	A.25
II.5/ Détermination des points de transformation	A.25
II.5.1/ But de la modélisation	A.25
II.5.2/ Modélisation par une tangente hyperbolique	A.25
<u>ANNEXE III</u> : CALCULS DES CAPACITES CALORIFIQUES DES METAUX ET ALLIAGES UTILISES	A.27
<u>ANNEXE IV</u> : TABLEAUX RECAPITULATIFS DES ESSAIS STATIQUES ET DYNAMIQUES SUR L'ENSEMBLE DES MATERIAUX ETUDIES	A.31
<u>ANNEXE V</u> : COURBES EXPERIMENTALES DE LA MESURE DE LA TEMPERATURE RESIDUELLE APRES IMPACT SUR DIFFERENTS MATERIAUX	A.45

•
• •