

Chapitre I :

Généralités sur les matériaux céramiques

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Ferhat Abbas- Sétif 1

Institut : Optique et Mécanique de Précision

Département : optique et mécanique de précision

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Optique et Mécanique de Précision

Spécialité : mécanique des matériaux.

Mémoire de Master

Amélioration des propriétés physico-chimiques et mécaniques d'une céramique de base locale.

Etudié par: Mlle. ZERIAT Meriem Echaima

Dirigé Par : Dr. CHARGUI. Fouzia

Devant le jury :

Mm. keraghel. F

(Présidente)

Msr. Tebanne. S

(Examinateur)

Dr. Chargui. F

(Examinatrice)

Soutenue le : 04 /07/2023

Sommaire

I .1Définition des céramiques	2
I.2 Classification des céramiques	2
I .2.1 Les céramiques traditionnelles.....	2
I .2.2 Les céramiques techniques	3
I.3 Les propriétés des céramiques	4
I .3.1 La densité	4
I .3.2 La dureté	4
I.3.3 L'inertie chimique	4
I.3.4 Le point de fusion.....	4
I.1.5 Les propriétés électriques	4
I.3.6 Le coefficient de dilatation thermique	4
I.3.7 La résistance mécanique.....	4
I.3.8 Les propriétés mécaniques.....	4
I.3.9 La résistance aux chocs	4
I.3.10 La Ténacité.....	4
I.3.11 Le module d'élasticité	4
I.4 Elaboration des céramiques	4
I.4.1 Le broyage.....	5
I.4.2 Mise en forme.....	5
I.4. 2.1-Compaction sèche des poudres	5
I.4.3 Frittage.....	5
I .5 Les argiles	6
I.5.1 Le kaolin.....	6
I.6 Les alumines et ses principaux minerais	8

Chapitre I :

Généralités sur les matériaux céramiques

I.7 Hydroxydes d'aluminium.....	9
I.7.1 Trihydrates d'alumine $\text{Al}(\text{OH})_3$	9
I.7.2- Monohydrates d'alumine $\text{AlO}(\text{OH})$	9
I.7.3 Gibbsite ($\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$).....	9
I.7.4 Boehmite ($\gamma\text{-AlOOH}$)	9
I.7.5 Alumine- α	10
I.6 Les scories d'aluminium	10
II.1 Renforcement des céramiques thermomécaniques	13
II.2 La zirconie.....	15
II.2.1 $\alpha\text{-ZrO}_2$ de structure monoclinique ($T < 1170^\circ\text{C}$).....	15
II.2.2 $\beta\text{-ZrO}_2$ de structure quadratique ($1170^\circ\text{C} < T < 2300^\circ\text{C}$)	15
II.2.3 $\gamma\text{-ZrO}_2$ de structure cubique ($T > 2300^\circ\text{C}$).....	15
II.3 Système $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZrO}_2$ (composite mullite-zirconie).....	16
II.4 Le composite mullite–zirconie	16
II.5 Système $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ (mullite)	17
II.6 Système $\text{ZrO}_2\text{-SiO}_2$ (zircon)	19
III-1- Objectif de travail	20
III-2-Les moyens utilisés	20
III-2-1- Broyage	20
III.2.2 Le tamisage	21
III.2.3 Distribution granulométrique	21
III.2.4 La composition chimique (FRX).....	22
III.2.5 Frittage.....	23
III.2.6 Diffraction des rayons X(DRX).....	24
III.2.7 L'observation microscopique.....	24
III-2- 8 La taille des pores	25

Chapitre I :

Généralités sur les matériaux céramiques

III .2.10 Mesure de la densité	25
III .2.11 Mesures de retrait diamétral.....	26
III.2.12 La dureté	26
III.2.13 Essai Brésilien (traction indirecte)	27
III .3 matériaux utilisés et procédures expérimentales	28
III.4 Méthodes expérimentales.....	30
III.4.1 Malaxage	30
III.4.2 La mise en forme.....	30
III.4.3 Rodage et polissage	32
III .1Analyse de la matière première.....	35
III.1.1 Analyse granulométrique	35
III.1.3 Analyse par diffractomètre à rayon X	36
III.2 Analyse des échantillons frittés à différentes températures.....	37
III.2.1 Le Retrait.....	37
III.2.1.1 Le retrait diamétral	37
III.2.1.2 Le retrait massique	38
III.2.2 La densité apparente	38
III.2.3 La porosité ouverte	39
III.2.4 Etude micrographique	40
III.2.5 La dureté	41
III.2.6 La résistance mécanique à la traction indirecte	46
III.2.7 La taille des pores.....	48
Conclusion générale	50
Références bibliographiques.....	51
Résumé	53

Figure I. 1 : exemples de céramiques traditionnelles. [3]	3
Figure I. 2 : quelques exemples de céramiques techniques [1].....	3
Figure I. 3 : Les différents stades de densification.[7]	6
Figure I. 4 : Structure de la kaolinite [6]......	8
Figure I. 5 : Phases de transition	10
Figure I. 6 : Séquences de transformation de la gibbsite ($\text{Al}(\text{OH})_3$) en $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. [32].....	10
Figure I. 7 : image MEB des scories d'aluminium [16].....	11
Figure I. 8 : Phases cristallographiques des scories d'aluminium à différentes températures de traitement thermique [16]	12
Figure II. 1 : Mécanismes de renforcement : (a) par transformation de phase [19].....	13
Figure II. 2 : Mailles quadratique et monoclinique de la zircon	15
Figure II. 3 : Diagrammes de phase du système $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-ZrO}_2$ (AZS). [20].....	16
Figure II. 4 : Images MEB d'un échantillon de matrice zircon-alumine-andalousite (sans additifs) après traitements thermiques à (a) 1450°C et (b) 1475°C	17
Figure II. 5 : Diagramme de phase de KLUG (lignes discontinue-sombre) et (ligne continue claire) (alumine-silice) superposés [16]	18
Figure II. 6 : Diagramme de phase $\text{ZrO}_2\text{-SiO}_2$. [16].....	19
Figure III. 1 : Broyage à mains	20
Figure III. 2 : Broyage à billes	21
Figure III. 3 : Tamiseuse vibrante.....	21
Figure III. 4 : Granulomètre laser type HORIBA.....	22
Figure III. 5 : Diffractomètre Bruker AXS D8.....	23
Figure III. 6 : Vue du four à moufles Nabertherm 1600°C.....	23
Figure III. 7 : Image d'un diffractomètre de type Brüker AXS.....	24
Figure III. 8 : Microscope optique à balayage utilisé.....	24
Figure III. 9 : Logiciel Image J	25
Figure III. 10 : Poussée d'Archimède	26
Figure III. 11 : La micro-dureté.....	26
Figure III. 12 : Duromètre Brinell	27
Figure III. 13 : Machine de l'essai brésilien effectué.....	28
Figure III. 14 : Kaolin DD1. Figure III-15 : Les scories d'aluminium utilisées.....	28
Figure III. 15 : Oxyde de magnésium	29
Figure III. 16/ La zircone.....	29
Figure III. 17 : Oxyde de titane Ti_2O_3	29
Figure III. 18 : Dispositif de malaxage	30
Figure III. 19 : Différente étape de la mise en forme d'une pastille.....	31
Figure III. 20 : Pastilles frittées.....	31
Figure III. 21 : L'enrobage des pastilles	32

Chapitre I :

Généralités sur les matériaux céramiques

Figure III. 22 : Différente étape de rodage.....	32
Figure III. 23 : Opération de polissage	33
Figure IV. 1 : Distribution granulométrique des particules de kaolin DD1	35
Figure IV. 2 : Micrographie des grains du kaolin DD1	36
Figure IV. 3 : Spectres de diffraction des rayons X des kaolins DD1.m : mullite ; k : kaolinite ; h : halloysite.....	36
Figure IV. 4 : la variation des diamètres des quatre mélanges en fonction de la température de frittage	37
Figure IV. 5 : La variation de la perte de masse en fonction de la température.....	38
Figure IV. 6 : la variation de la densité apparente en fonction de la température.....	39
Figure IV. 7 : Variation de de la porosité en fonction de la température	40
Figure IV. 8 : micrographies obtenues par un microscope optique pour des quatre échantillons aux différentes températures de frittage	41
Figure IV. 9 : Empreinte obtenue par la micro indentation.....	42
Figure IV. 10 : Courbe présente la variation de la dureté en fonction de la température.....	42
Figure IV. 11 : La variation de la dureté en fonction de la force appliquée.....	43
Figure IV. 12 : Variation de la dureté des quatre mélanges pour F=20.....	44
Figure IV. 13 ; quelques empreintes observées par un microscope optique	45
Figure IV. 14 : histogramme présent la variation de la contrainte mécanique des quatre mélanges	47
Figure IV. 15 : L'essai brésilien effectué.....	48
Figure IV. 16 : la variation du diamètre du pore en fonction de la température	48
Figure IV. 17 : La variation de la taille des pores exprimée en mm des quatre mélanges.....	49

Introduction générale

Le développement technologique vise à inventer de nouveaux matériaux en particulier des céramiques, répondant au besoin économique et technique. Les produits céramiques prennent une part importante dans plusieurs domaines, elles rencontrent un succès croissant, en particulier lorsqu'il s'agit d'un produit qui résiste à des températures très élevées.

Les céramiques sont l'un des matériaux les plus importants sur le marché mondial. Cette importance est due à l'abondance des matières premières et au faible coût de leur production. Ce sont en majorité constituées de matières premières minérales notamment les argiles. Parmi tous les minéraux argileux, Le kaolin reste l'un des plus fréquemment utilisé et souhaité pour la fabrication des céramiques de grande diffusion. [1]

Le problème majeur des céramiques réside dans leur fragilité, c'est-à-dire une tendance à se rompre brutalement, sans déformation plastique appréciable. Cette fragilité est accentuée par la présence de défauts et microfissure dont la taille est de quelques dizaines de microns.

Plusieurs solutions introduites pour remédier à ce problème, l'élaboration de céramiques composites à dispersoïdes est l'une des solutions les plus adéquates où plusieurs phases sont basées dans la matrice de façon à créer une interaction avec les fissures lors de leur propagation et de ralentir ainsi leur propagation. La plus connue certainement des composites dispersoïdes c'est la mullite-zircone.

L'objectif principal de notre travail est le renforcement d'une céramique de type mullite préparée à partir d'un kaolin naturel Algérien et l'alumine commerciale d'une part et d'autre part à partir du même kaolin et les scories d'aluminium, le renforcement est fait par l'ajout de zircone. de même nous avons étudié l'influence de MgO et TiO₂ sur les propriétés du matériau élaboré.

Nous avons décortiqué notre travail comme suit : le premier chapitre est sacré pour présenter des généralités sur les céramiques et les techniques d'élaborations ; dans le deuxième chapitre nous avons mis l'accent sur l'étude des composites Mullite -Zircone ; le troisième chapitre consacré à la présentation et l'interprétation des résultats obtenus, ainsi que les méthodes d'élaboration et de caractérisation des produits élaborés.

Résumé : L'objectif principal de notre travail, c'est l'amélioration des propriétés du composite « mullite-zircone » en particulier les propriétés mécaniques en ajoutant des additifs adaptés (le MgO et le TiO₂) en quantité bien étudiés.

Dans cette étude nous avons sacré notre travail sur la synthétise de la mullite à partir de deux différentes matières locales (l'alumine et les scories d'aluminium), en ajoutant des quantités bien définies de chaque additif choisi.

En fonction des propriétés des ajouts, les pastilles obtenues ont subi un frittage approprié. Les matières premières et des granulats conçus, ont été minutieusement étudiés par les moyens de la spectroscopie de fluorescence X, des microscopies optique et électronique à balayage, la porosité, le retrait, et la densité, la résistance mécanique, et la dureté des échantillons ont été également étudiés.

Mots clés : mullite ; additif ; zircone ; scories d'aluminium ; frittage ; pastille ; analyse.

Abstract: the main objective of our work is to improve the properties of the « mullite-zirconia » composite, in particular the mechanical properties by adding suitable additives (MgO and TiO₂) in well-studied quantities.

In this study we devoted our work to the synthesis of mullite from two different local materials (alumina and aluminum slag), by adding well-defined quantities of each chosen additive.

Depending on the properties of the additions, the pellets obtained underwent appropriate sintering. The raw materials and aggregates designed have been thoroughly studies by means of X-ray fluorescence spectroscopy, optical and scanning electron microscopy, the porosity, shrinkage, and density, mechanical resistance, and hardness of the samples. Were also studied.

Keywords: mullite; additives; zirconia; aluminum slag; sintering; pellets; analysis.