

LES GRANDES CLASSES DE CERAMIQUES, LEURS PROPRIETES SPECIFIQUES ET LEURS MICROSTRUCTURES.

VII.1. Introduction

Les céramiques sont parmi les matériaux les plus anciens utilisés par l'homme. Leur nom provient du grec « Keramos » qui signifie matière cuite.

Une céramique est un matériau inorganique, non métallique polycristallin non naturel obtenu à la suite d'un traitement thermique approprié, présentant une microstructure complexe de grains et de joints de grains .

VII.2. Catégorie de céramiques

On distingue deux catégories d'activités industrielles regroupant deux familles de matériaux céramiques.

- Les céramiques traditionnelles (conventionnelles)
- Les céramiques techniques (néo céramiques)

VII.2.1. Les céramiques traditionnelles

Sont en général des silicates ou des aluminosilicates issus de matière première naturelle à base d'argile (kaolin), de quartz (sable) et de feldspath. Cette catégorie de céramique comprend entre autres les verre (vitrage, pyrex) basés sur la silice (SiO_2) et les céramiques vitrifiées (porcelaine, faïence) constituées principalement de phases cristallines sous forme de silicate constitué principalement de phases cristallines sous forme de silicates enrobées dans une matrice essentiellement vitreuse. Des exemples de céramiques traditionnelles telles que : réfractaires, sanitaires, tuiles, briques, tuiles, etc (tableau VII.1).

VII.2.2. Les céramiques techniques

Sont essentiellement des composés non silicatés de grande pureté et pour cela élaborés à partir de matières premières déjà synthétisées. Ces céramiques sont souvent des composés binaires (Al_2O_3 , SiC , Si_3N_4 , B_4C) ou des composé binaires d'élément binaire (mullite, cordiérite...).

Chapitre VII : Les grandes classes de céramiques, leurs propriétés spécifiques et leurs microstructures

Les céramiques techniques sont utilisées dans le cycle des combustibles nucléaires, céramiques à applications thermomécaniques ou céramiques à applications électroniques (tableau VII.2).

Les céramiques techniques peuvent être classées en plusieurs familles

1- Les oxydes métalliques (Alumine Al_2O_3 , Cr_2O_3 , Fe_2O_3)

2- Les carbures (C, SiC, TiC,)

3- Les nitrures (AlN , Si_3N_4 , TiN)

4- Les borures (BaB_6 , CaB_6 , ZrB_2

5- Les sulfures (BaS , MgS , TiS)

6- Les halogénures (CaF_2 , LiF)

7 Les composites (des matériaux renforcés avec des **fibres ex**: Composite SiC/SiC)

8 les composés ternaires (ex : (pérovskite) CaTiO_3)

Type	Utilisation	Composition
Terres cuites Faïences Porcelaine	Briques, tuiles, tuyaux, poteries Sanitaire, vaisselle, carreaux Isolateurs électriques	A base d'argile (aluminosilicates hydratés), quartz et de feldspath.
Verre	Vitres, bouteille, Pyrex Plats résistants aux chocs thermiques	Verre sodocalcique Verre borosilicaté Vitrocéramiques
Réfractaires	Revêtements de cubilot, moule de fonderie	Al_2O_3 , SiO_2
Grès	Carreaux de sol	SiO_2
Ciments	Bâtiment et génie civil	$\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$

Tableau VI.1 : Classifications des céramiques traditionnelles

Chapitre VII : Les grandes classes de céramiques, leurs propriétés spécifiques et leurs microstructures

Fonction	Utilisation	Composition
Electriques et électroniques	Substrats électroniques (isolant) Condensateurs (Ferroélectriques) Filtre, transducteurs	Al ₂ O ₃ , BeO BaTiO ₃ PZT(PB-Zr-Ti-O)
Magnétiques	tête magnétiques, Capteurs	Fe ₃ O ₄ , ZnO-Fe ₂ O ₃
Chimiques	Détecteurs de gaz Catalyseurs Microfiltration	ZnO, Fe ₂ O ₃ SnO ₂ Zéolite Al ₂ O ₃ , ZrO ₂
Thermiques	Radiateur IR Echangeur de chaleur	ZrO ₂ , TiO ₂ SiC
Thermo-mécanique	Turbines, moteur	Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ ,
Nucléaires	Combustibles Protection Militaires	UO ₂ Al ₂ O ₃
Militaires	Blindage, détection	Al ₂ O ₃ , SiC

Tableau VI.1 : Classifications des céramiques traditionnelles

VII.3. Propriétés des céramiques

VII.3.1. Propriétés mécaniques

Les propriétés sont :

- **Élasticité**
- **Ténaces**
- **Ductiles**

Les céramiques ont un module d'élasticité très important et une déformation (ϵ) qui relatif à la contrainte appliquée (σ) jusqu'à la rupture. Ceci est représenté par la loi de Hooke.

$$\sigma = E \epsilon$$

VII.3.2. Propriétés chimiques

Chapitre VII : Les grandes classes de céramiques, leurs propriétés spécifiques et leurs microstructures

- Catalyse
- Inertie chimique

Pour la catalyse, on emploie des poudres à très fortes surfaces spécifiques, en particulier les hydrates d'alumine. On utilise aussi la cordiérite, $2 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 2 \text{ MgO} - 5 \text{ SiO}_2$. Les céramiques oxydes étant déjà oxydées, elles résistent beaucoup mieux aux effets corrosifs que certains métaux (résistent aux attaques chimiques).

VII.3.3. Propriétés thermiques

- **Réfractarité**
- **Conductivités**
- **Dilatation thermique**

Les céramiques sont essentiellement connues pour leur caractère réfractaire, c'est-à-dire leur bon comportement à haute température. Généralement, les céramiques sont considérées comme réfractaires lorsqu'elles ont une résistance pyroscopique d'au moins 1500°C . La résistance pyroscopique d'un réfractaire est la température qui correspond à l'affaissement d'une éprouvette conique faite du matériau à étudier d'une valeur donnée

Les céramiques aux structures plus complexes comme Al_2O_3 ont une faible conductivité.

La dilatation thermique des céramiques (due à l'amplitude des vibrations atomiques de la structure) dépend fortement de la structure interne de celles-ci.

Le **coefficient de dilatation linéaire** α (unité : K^{-1}) est donné par :

$$\alpha = \Delta l_0 / \Delta \theta$$

l_0 est la longueur initiale du matériau

$\Delta \theta$ Représente une élévation de température

Δl Allongement de la pièce.

Comme les oxydes, la structure des céramiques ioniques est, compacte. Cette structure est responsable de la forte dilatation thermique par exemple Al_2O_3 , Zr_2O , MgO .

Les **nitrides** comme AlN ou SiN ont un faible coefficient de dilatation thermique. Les matériaux de type Si_3C_4 sont meilleurs conducteurs de la chaleur que les nitrides, mais possèdent un coefficient de dilatation supérieur.

VII.4. Structures des céramiques

Les principales propriétés des céramiques : propriétés mécaniques, propriétés thermiques, propriétés physiques et propriétés chimiques sont principalement contrôlées par la nature de leurs liaisons atomiques, leur structure cristalline et leur microstructure.

VII.4.1. Liaisons atomiques

Les céramiques se distinguent par les liaisons atomiques hybrides ioniques et covalentes. Les céramiques présentent soit un caractère principalement ionique (grande différence d'électronégativité) soit un caractère covalent prédominant (faible différence d'électronégativité).

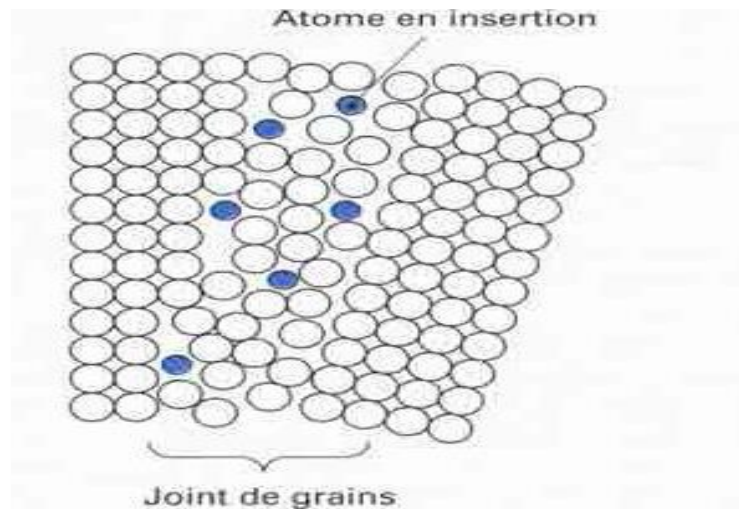
La composante covalente, très énergétique, est responsable de la grande solidité (duretés élevées), de la grande rigidité (hauts modules de Young), du caractère réfractaire (hautes températures de fusion ou de décomposition) et de la stabilité dimensionnelle (faibles coefficients de dilatation) en particulier des carbures et des nitrures.

VII.4.2 Microstructure

La microstructure des céramiques provient de l'assemblage de petits cristaux ou grains, d'une taille de quelques centièmes de millimètre différemment orientés les uns par rapport aux autres. La jonction entre grains voisins est assurée par une interphase : le joint de grains. Cette microstructure dépend, dans une large mesure de la pureté des matières utilisées et des méthodes d'élaboration.

La taille, des grains et surtout la structure (amorphe ou cristalline) des joints de grains influent considérablement sur les comportements mécaniques et thermiques de ces matériaux.

Le joint de grain est l'interphase de structure amorphe où se sont concentrés des éléments s'intégrant difficilement dans le réseau cristallin des grains.



Figures VI.3 : Représentation de joint de grains

VII.5. Relation entre structure microstructure et propriétés

La plupart des céramiques sont formées des premiers éléments du tableau périodique (Li, C, N, O, Mg, Al, Si) et sont donc des matériaux relativement légers. Leur masse volumique est d'environ 2 à 4,103 kg.m⁻³, ce qui est similaire à l'aluminium et beaucoup plus faible que les autres métaux courants. Néanmoins, des céramiques techniques, telles que celles à base d'oxyde de zirconium ZrO₂ ou de carbure de tungstène WC, sont plus denses.

Les liaisons chimiques de type iono-covalent sont des liaisons fortes qui accordent une grande énergie de cohésion. Les céramiques ont de ce fait un point de fusion élevé, une grande inertie chimique et résistent bien à la corrosion.

Les céramiques ont une grande rigidité et dureté en raison de la force des liaisons chimiques, d'autre part, elles sont fragiles en raison des structures fortes et orientées des composés difficiles à déformer. En conséquence, la céramique se casse avant de pouvoir se déformer en raison d'un manque de plasticité.