



Université de Relizane
Faculté des Sciences et Technologie
Département de Génie Mécanique



-2021/2022-

Technologie de Base
2^{ème} Génie Mécanique
Cours 06

Chapitre I : Matériaux (suite4)

I.3. Céramiques

Généralités

Le mot céramique (du grec keramikos, « argile cuite ») implique la cuisson de matières premières argileuses, matières abondantes et bon marché. Les céramiques, sous forme de poterie et de briques, sont les premiers matériaux que l'homme a fabriqués par transformation de matières premières. La cohésion des céramiques est assurée par des liaisons fortes, ioniques ou covalentes.

Aujourd'hui, le terme céramique englobe une gamme de matériaux beaucoup plus vaste. En effet, outre les céramiques traditionnelles fabriquées à partir d'argiles, on retrouve les verres, les céramiques techniques, les carbones et graphites, les ciments et plâtres.

3.1. Propriétés générales

Les propriétés générales des céramiques découlent des propriétés de leurs liaisons chimiques, de leur état cristallin ou amorphe et de leur microstructure.

3.1.1. Liaisons

Les céramiques sont constituées de composés d'éléments non métalliques avec d'autres éléments non-métalliques ou métalliques : fréquemment des oxydes, mais aussi des carbures, nitrures, borures ou des composés plus complexes. Ceci explique qu'on y trouve des liaisons allant d'un caractère purement covalent (C_{diamant} , Si, Ge, GaAs...) à un caractère purement ionique (NaCl, MgO, Al_2O_3 ...), en passant par un caractère mixte (SiO_2 ...).

L'absence d'électrons libres fait de la plupart des matériaux céramiques de mauvais conducteurs de l'électricité et de la chaleur. Elles sont fréquemment utilisées comme diélectriques et isolants thermiques.

Les liaisons étant particulièrement stables et fortes, les céramiques ont des températures de fusion très élevées, souvent supérieures à celles des métaux. On les utilise largement comme matériaux réfractaires dans les fours. Elles possèdent également une grande inertie chimique (très faible dégradation par corrosion). Pour les mêmes raisons, leur module de Young est en général élevé. De par le caractère localisé des liaisons, les céramiques ont un comportement dur et fragile, sans aucune capacité de déformation plastique, sauf au voisinage immédiat de leur température de fusion. Les céramiques ont une faible résistance à la rupture en traction ; leur comportement est par contre meilleur en compression.

3.1.2. Microstructures et propriétés

Le comportement intrinsèquement fragile des céramiques est amplifié par la présence de microfissures ou des porosités résiduelles dues à leur élaboration. Les céramiques ont une faible **ténacité**.

La fragilité rend le plus souvent impossible la mesure directe des caractéristiques mécaniques en traction ($R_e \approx R_m$, A%).

Les essais mécaniques le plus souvent pratiqués sont :

– l’essai de compression : la rupture provenant dans ce cas de la propagation stable de multiples fissures, la contrainte limite R_{mc} qui en découle est très supérieure à la limite de rupture en traction R_{mt} (quand celle-ci est mesurable) :

$$R_{mc} \approx 15 \cdot R_{mt}$$

– l’essai de flexion 3-points : la contrainte appliquée varie linéairement dans une section de l’échantillon depuis la compression pure jusqu’à la traction pure. La région qui subit la contrainte de traction maximale étant uniquement la zone la plus étirée, la valeur de contrainte limite qui s’en déduit, appelée **module de rupture** σ_R , est nettement supérieure à la limite de rupture en traction R_{mt} :
 $\sigma_R \approx 1,7 \cdot R_{mt}$

3.2. Types de céramiques

3.2.1. Céramiques traditionnelles

D’origine très ancienne, on obtient les céramiques traditionnelles par cuisson, à partir d’argile, de sable et de feldspath. Ce sont des matériaux poreux qui comportent des phases vitreuses et cristallines. Leurs composants sont essentiellement de multiples oxydes et hydroxydes naturels.

3.2.2. Céramiques techniques

A côté des céramiques traditionnelles très largement utilisées, on rencontre une grande variété de céramiques techniques indispensables à la réalisation d’un grand nombre d’activités technologiques dans les secteurs les plus divers : mécanique, électrotechnique et électronique, chirurgie, optique,

industrie nucléaire, etc. Dans la majorité des cas, ces céramiques sont élaborées avec soin, depuis le choix et le traitement des matières premières (naturelles ou synthétiques) jusqu'aux étapes finales de fabrication, afin qu'on puisse contrôler parfaitement leurs microstructures.

- ***Abrasives et outils de coupes***

Les céramiques techniques sont utilisées comme des abrasives (polissage...) et outils de coupes (tournage, fraisage...) pour :

- Leur dureté supérieure à celle du matériau à usiner
- Leur rigidité élevée, afin que l'outil ne se déforme pas sous l'effet des contraintes (cisaillement et compression)
- Une résistance mécanique élevée, dans le but de minimiser les risques de rupture.
- Une bonne tenue à chaud ; le frottement entre l'outil et la pièce à usiner provoque en effet d'importantes élévations de température au point de contact, et la chaleur ainsi engendrée se dissipe difficilement dans l'outil, puisque celui-ci est un mauvais conducteur thermique.

- ***Construction mécanique***

Leurs propriétés mécaniques sont fonction de leur porosité, et la présence de phases vitreuses diminue considérablement leur ténacité. Par conséquent, une telle fragilité représente souvent un obstacle majeur à l'emploi des céramiques pour des utilisations mécaniques, notamment quand les produits sont soumis à des contraintes de tension. Cependant, à cause de leurs propriétés particulières, comme la résistance à l'usure, la tenue à haute température et l'inertie chimique, on utilise certaines céramiques en construction mécaniques. Dans ce cas, il faut contrôler la composition du matériau et sa microstructure ; on doit avoir une porosité à peu près nulle, une absence totale de défaut et de phases vitreuses.

3.2.3. Verres

Les **verres** sont des solides amorphes. Le composé de base de la plupart des verres est la **silice** SiO_2 . L'élément structural de base de la silice est un tétraèdre formé de 4 anions O^{2-} avec un cation Si^{4+} en son centre. Au cours de leur refroidissement, à partir de l'état liquide : Si la vitesse de refroidissement n'est pas suffisamment faible, ces tétraèdres sont liés entre eux de façon aléatoire et l'on obtient un solide vitreux ou amorphe. En diminuant considérablement la vitesse de refroidissement au voisinage de la température de fusion, de façon à favoriser un arrangement régulier des tétraèdres, on peut obtenir une structure cristalline régulière. Dans les diverses formes de la silice cristallisée (quartz, cristobalite...)

3.2.4. Vitrocéramiques

L'introduction dans le verre de certains oxydes métalliques (TiO_2 , ZrO_2 , SnO_2 , P_2O_5 ...) favorise l'apparition et la croissance d'une fraction de phase cristalline. Les vitrocéramiques possèdent une ténacité (la propagation des fissures est gênée par les îlots cristallins) nettement supérieure à celle des verres. Il en résulte de meilleures propriétés mécaniques et une bonne résistance aux chocs thermiques. La résistance à la traction peut varier de 150 à 600MPa.

3.2.5. Autres céramiques

- Graphite et carbones (céramiques noires)

Outre sa structure cubique diamant, le carbone peut aussi plus couramment cristalliser avec la structure hexagonale du graphite, aux propriétés très anisotropes.

Le graphite est traditionnellement obtenu à partir de particules de coke de pétrole ou de charbon agglomérées par du brai ou du goudron.

Après compactage et pyrolyse des éléments volatils vers 900 °C, un frittage entre 2 600 et 3 000 °C permet d'obtenir un graphite plus ou moins compact à grains de l'ordre du micromètre. On peut également obtenir un matériau graphitique par craquage d'hydrocarbure et dépôt en phase vapeur, ou pyrolyse d'une préforme polymère ; il est alors appelé **carbone vitreux** en raison de ses multiples fautes d'empilement et de sa très faible taille de grains ; il est moins sensible à l'oxydation.

Les applications du graphite sont liées à sa bonne conductivité thermique et électrique, à sa bonne tenue à haute température (en atmosphère réductrice) et à ses bonnes propriétés tribologiques.

- Ciments

Les ciments acquièrent leur résistance mécanique par une réaction chimique avec l'eau, dont les produits leur confèrent leur cohésion en cristallisant. Le ciment Portland est obtenu par calcination à 1500 °C de calcaire et d'argile, qui donne des silicates et aluminosilicates de calcium oxydés. En présence d'eau, les réactions d'hydratation des constituants conduisent à la prise, puis au durcissement du ciment.

Leurs propriétés font utiliser abondamment les ciments comme liants hydrauliques de base en génie civil, surtout actuellement sous forme de **mortier** et de **béton**.

- Plâtre

Il est obtenu par déshydratation à chaud du gypse (CaSO_4 , H_2O). Le mélange d'eau à la poudre déshydratée provoque la réaction inverse de cristallisation de gypse, qui conduit à un produit solide.

- Roches

Les roches de l'écorce terrestre, bien que d'origine naturelle, sont des céramiques à grande stabilité chimique abondamment utilisés en génie civil. Leurs constituants (argile, silice, feldspath) sont analogues à ceux des céramiques traditionnelles, en y ajoutant le carbonate de calcium (CaCO_3) des roches calcaires. L'élaboration de « roches synthétiques » est envisagée pour le stockage de longue durée des déchets nucléaires.