

西安交通大学



材料科学与工程学院

第八章 陶瓷材料

CERAMICS MATERIALS



第一节 概述

陶瓷材料 — 用一些化合物粉末，通过成型和高温烧结而制成的具有高硬度高脆性等特性的多晶固体材料

一、陶瓷材料的分类

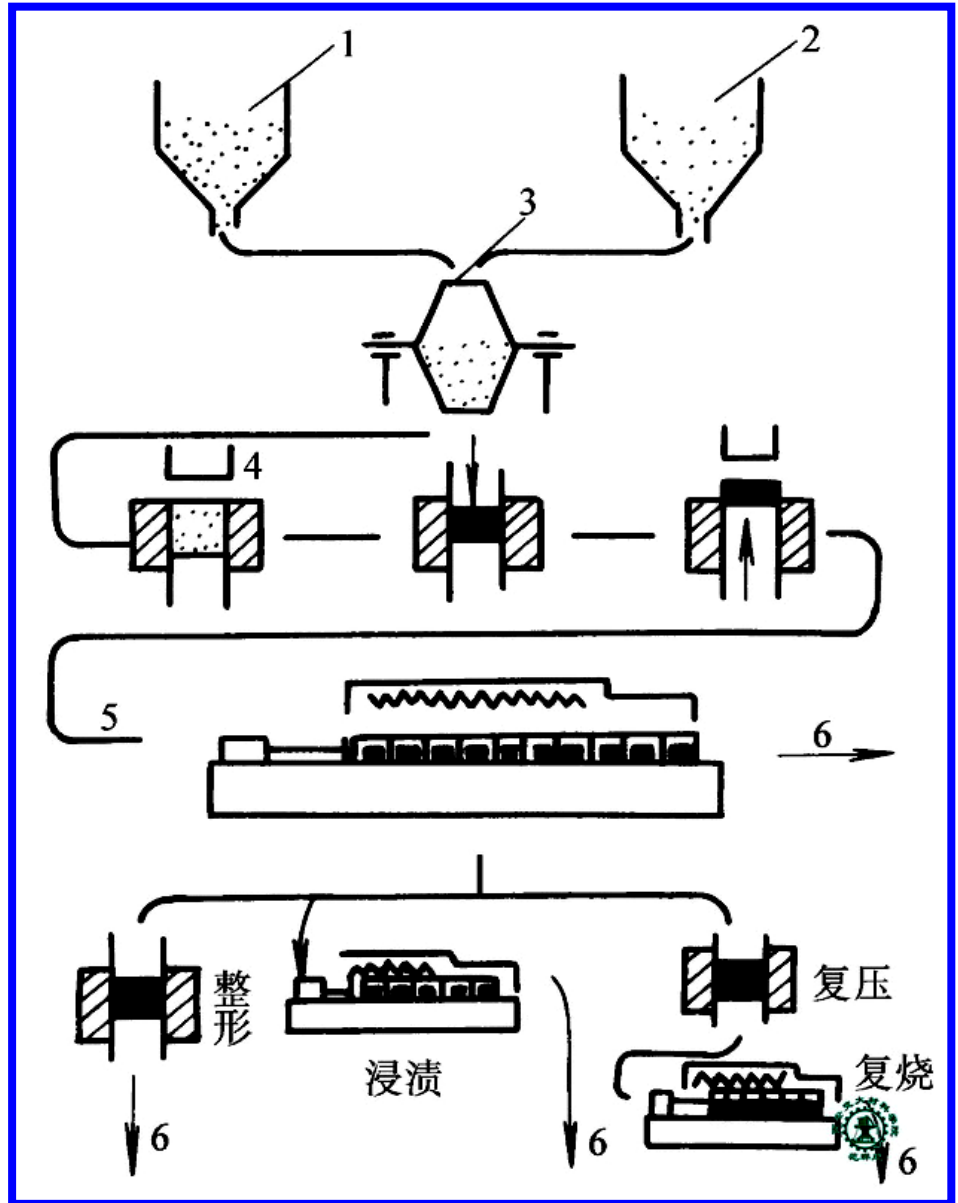
按原料来源 { 普通陶瓷 (黏土, 石英, 长石)
特种陶瓷 (SiC , BN , Al_2O_3 ...)

按用途 { 日用陶瓷
工业陶瓷 { 工程结构陶瓷
功能陶瓷

按性能 { 高强度陶瓷
高温陶瓷
耐酸陶瓷
...
按化学成分 { 氧化物陶瓷
碳化物陶瓷
氮化物陶瓷
...

二、陶瓷制品的制备

坯料制备 → 成型
→ 烧结

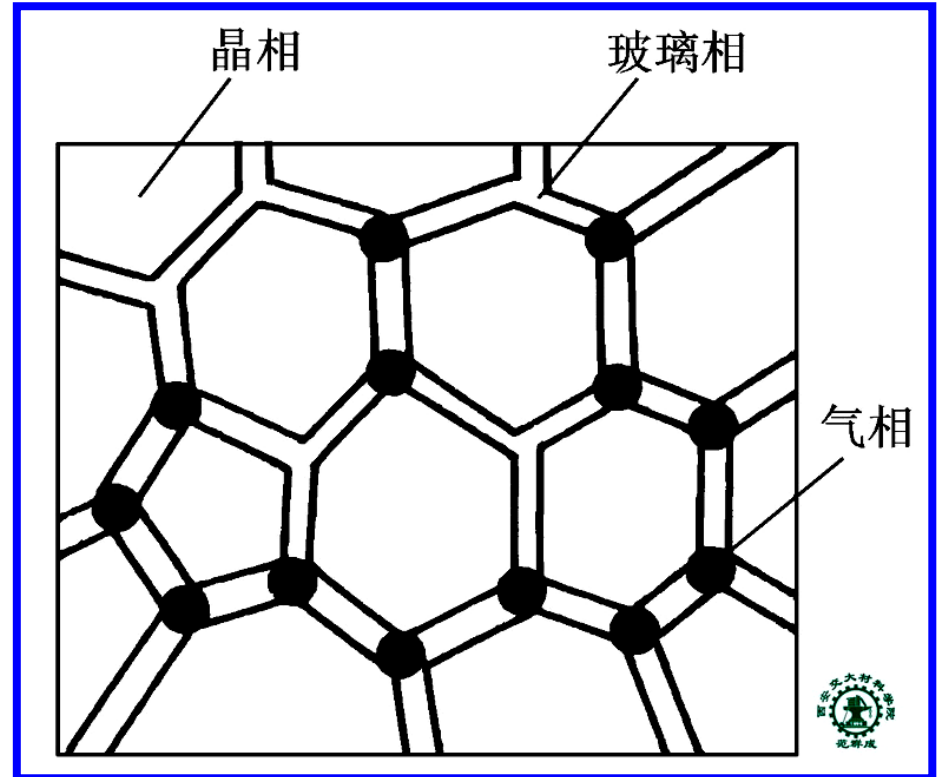


THE END

三、陶瓷材料的结构与性能特点

1. 陶瓷材料的结构

晶相 + 玻璃相 + 气相



陶瓷显微组织示意图

THE END

1) 晶相：陶瓷材料中的主要组成相

晶相中的结合键 { 离子键：CaO, Al₂O₃ ...
共价键：SiC, BN...

2) 玻璃相：一种熔点较低的非晶态固体。黏结分散的晶相颗粒；降低烧结温度；减小将体相颗粒尺寸；填充气孔

3) 气相：气孔 { 有害：↓强度，↓电性能
利用：↓比重，吸震，储油

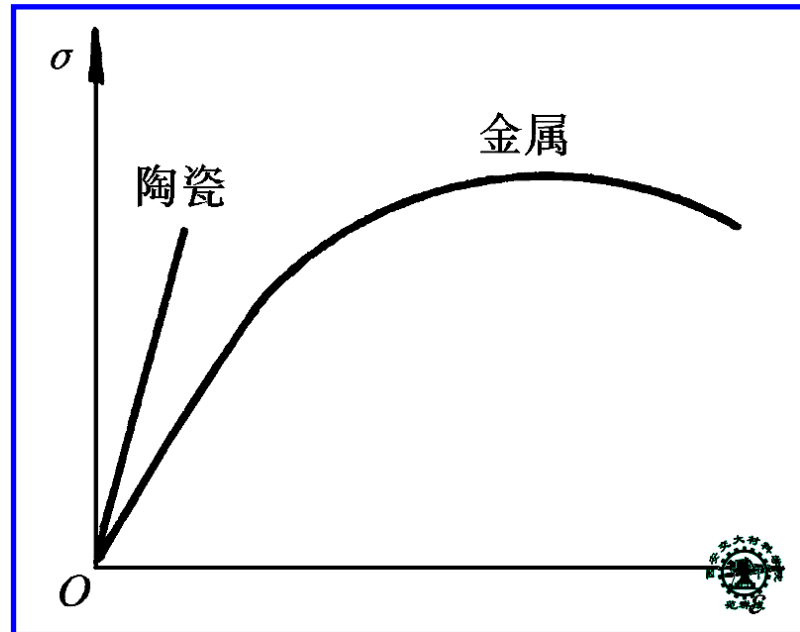
THE END

2. 陶瓷材料的性能特点

1) 力学性能

- 高硬度, 高耐磨
- 高弹性模量, 低弹性
- 高脆性
- 低抗拉强度, 较高抗压强度, 高的高温强度
- 低抗热震性

陶瓷与金属的拉伸曲线示意图



2) 理化性能

- 热性能：高熔点，小热胀系数，低导热，小热容
- 电性能：绝缘体，半导体，超导体
- 磁性能：磁性材料，如铁氧体
- 光性能：光导纤维，固体激光器
- 化学稳定性：抗高温氧化，抗腐蚀

第二节 工程结构陶瓷材料

一、普通陶瓷

- 原料：黏土，石英，长石
- 组织：
莫来石($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) + 玻璃相 + 气相
25~30% 35~60% 1~3%
- 性能特点：高硬度，低强度，绝缘，低耐高温性
- 用途：绝缘子，导纱器，耐蚀容器等

THE END

瓷
瓶



二、特种陶瓷

1. 氧化铝陶瓷

- 主晶相： Al_2O_3
- 性能：高硬度，高强度，高耐磨，良好的高温性能，耐蚀，绝缘，高脆性，低抗热震性
- 用途：内燃机火花塞的绝缘体，坩埚，刀具，活塞，轴承，密封环...

氧化铝陶瓷

火花塞

Spark Plug

纺织机械零件

Textile Machine Parts





2. 氮化硅陶瓷

- 主晶相： Si_3N_4
- 性能：高硬度，小摩擦系数，高蠕变抗力，绝缘，高抗热震性，耐蚀
- 用途：气轮机叶片，高温轴承，密封环...

3. 碳化硅陶瓷

- 主晶相： SiC
- 性能：高温强度高，导热性好，高热稳定性，高蠕变抗力，绝缘，耐蚀
- 用途：气轮机叶片，火箭尾喷管的喷嘴，高温轴承...

THE END

氮化硅陶瓷

反应烧结氮化硅陶瓷零件

Reaction Sintered Si_3N_4 Ceramic Parts







表 8-1 常用工程结构陶瓷的种类、性能和应用

名称		密度 g/cm^3	抗弯强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	抗压强度 /MPa	膨胀系数 $/10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	应用举例
普通陶瓷	普通工业陶瓷	2.3~2.4	65~85	26~36	460~680	3~6	绝缘子, 绝缘的机械支撑件, 静电纺织导纱器
	化工陶瓷	2.1~2.3	30~60	7~12	80~140	4.5~6	受力不大、工业温度低的酸碱容器、反应塔、管道
特种陶瓷	氧化铝瓷	3.2~3.9	250~450	140~250	1200~2500	5~6.7	内燃机火花塞, 轴承, 化工、石油用泵的密封环, 火箭、导弹导流罩, 坩埚, 热电偶套管, 刀具等
	氮化硅瓷 反应烧结 热压烧结	2.4~2.6	166~206	141	1200	2.99	耐磨、耐腐蚀、耐高温零件, 如石油、化工泵的密封环, 电磁泵管道、阀门热电偶套管, 转子发动机刮片, 高温轴承, 刀具等
		3.10~3.18	490~590	150~275	—	3.28	
	氮化硼瓷	2.15~2.2	53~109	25 (1000 $^\circ\text{C}$)	233~315	1.5~3	坩埚, 绝缘零件, 高温轴承, 玻璃制品成型模等
	氧化镁瓷	3.0~3.6	160~280	60~80	780	13.5	熔炼 Fe, Cu, Mo, Mg 等金属的坩埚及熔化高纯度 U, Th 及其合金的坩埚
	氧化铍瓷	2.9	150~200	97~130	800~1620	9.5	高温绝缘电子元件, 核反应堆中子减速剂和反射材料, 高频电炉坩埚等
氧化锆瓷	5.5~6.0	1000~1500	140~500	1440~2100	4.5~11	熔炼 Pt, Pd, Rh 等金属的坩埚、电极等	

第三节 金属陶瓷

——以金属氧化物（如 Al_2O_3 、 ZrO_2 等）或金属碳化物（如 TiC 、 WC 、 TaC 、 NbC 等）为主要成分，再加入适量的金属粉末（如 Co 、 Cr 、 Fe 、 Ni 、 Mo 等），通过粉末冶金方法制成的具有某些金属性质的陶瓷。

一、粉末冶金方法及其应用

1. 粉末冶金法的基本工艺过程

粉末制备 → 压制成型 → 烧结 → 后处理

THE END

2. 粉末冶金的应用

- 1) 减摩材料
如, 含油轴承 { 铁基, 如Fe+石墨, Fe+S+石墨
 { 铜基, 如Fe+Sb+Pb+Zn+石墨
- 2) 结构材料
如, 用碳钢、合金钢粉末烧结成油泵齿轮、电钻齿轮、凸轮、衬套...
- 3) 高熔点金属材料
如, 金属陶瓷, 钨丝, Mo, Ta, Nb...

粉末冶金制品



二、金属陶瓷硬质合金

——以金属碳化物(如WC, TiC, TaC等)为基体,再加入适量金属(如Co, Ni, Mo等)粉末作黏结剂烧结而成的、具有高硬度的粉末冶金材料

1. 硬质合金的性能特点及加工装夹

1) 优点

- 高硬度, 86~93HRA (相当于69~81HRC)
- 高热硬性, 可维持到 900~1000°C
- 高耐磨性
- 高抗压强度, 可达6000MPa, 高于高速钢
- 高弹性模量, 约为高速钢的 2~3倍
- 良好的耐蚀性、抗氧化性, 热膨胀系数小

2) 缺点

- 抗弯强度低, 只有高速钢的 $1/3 \sim 1/2$ 左右
- 韧性很差, 约为淬火钢的 $30\% \sim 50\%$
- 导热性差

3) 加工及装夹

- 电加工切削 { 电火花加工
线切割
金刚砂轮磨削
- 装夹 { 粘结
钎焊
机械装夹

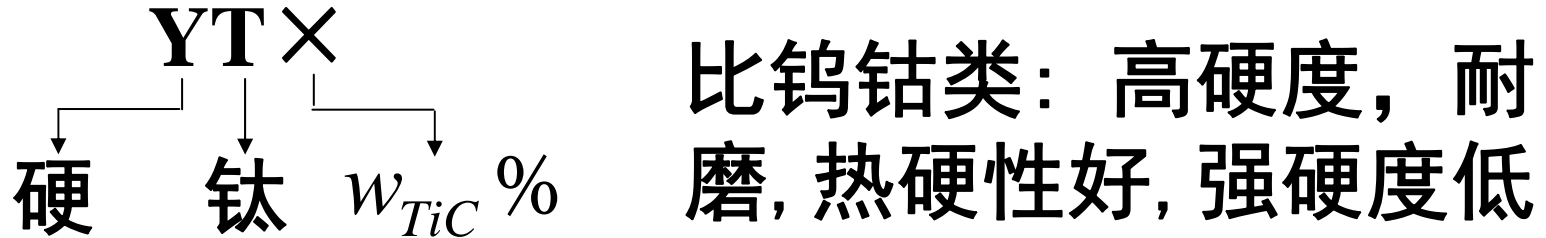
2. 硬质合金的分类、编号及应用

1) 硬质合金分类及编号

(1) 钨钴类硬质合金 (WC + Co)



(2) 钨钴钛类硬质合金 (WC + TiC + Co)



(3) 通用硬质合金 (WC+TiC+TaC+NbC+Co)

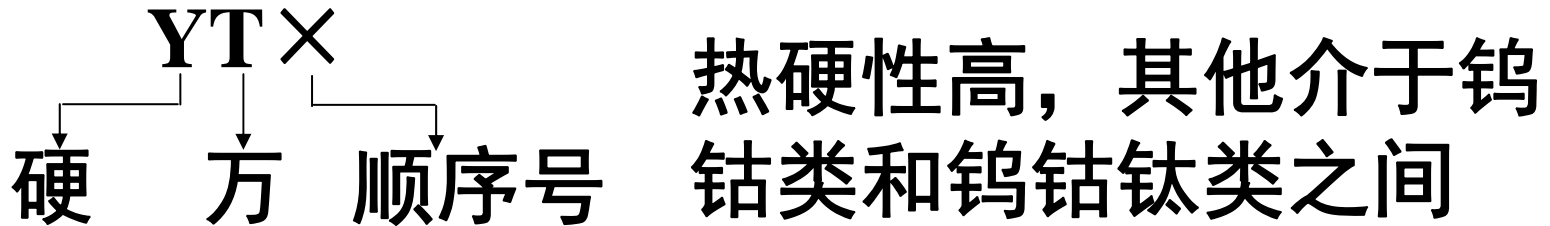


表 8-2 常用硬质合金的代号、成分和性能（摘自 YB 849—75）

类别	代号①	化学成分				物理、力学性能		
		WC	TiC	TaC	Co	密度 /g·cm ⁻³	硬度 HRA (不低于)	抗弯强度 /MPa(不低于)
钨钴类合金	YG3X	96.5	—	<0.5	3	15.0~15.3	91.5	1100
	YG6	94	—	—	6	14.6~15.0	89.5	1450
	YG6X	93.5	—	<0.5	6	14.6~15.0	91	1400
	YG8	92	—	—	8	14.5~14.9	89	1500
	YG8C	92	—	—	8	14.5~14.9	88	1750
	YG11C	89	—	—	11	14.0~14.4	86.5	2100
	YG15	85	—	—	15	13.9~14.2	87	2100
	YG20C	80	—	—	20	13.4~13.8	82~84	2200
	YG6A	91	—	3	6	14.6~15.0	91.5	1400
	YG8A	91	—	<1.0	8	14.5~14.9	89.5	1500
钨钴钛类合金	YT5	85	5	—	10	12.5~13.2	89	1400
	YT15	79	15	—	6	11.0~11.7	91	1150
	YT30	66	30	—	4	9.3~9.7	92.5	900
通用合金	YW1	84	6	4	6	12.8~13.3	91.5	1200
	YW2	82	6	4	8	12.6~13.0	90.5	1300

①代号中的“X”字，代表该合金是细颗粒合金；“C”字是粗颗粒合金；不加字的为一般颗粒合金。“A”字代表含有少量 TaC 的合金。

2) 硬质合金的应用

- 切削刀具 {
- 钨钴类**：适于切削脆性材料，如铸铁、有色金属、胶木及其他非金属材料
 - 钨钴钛类**：适于切削韧性材料，如各种钢
 - 通用硬质合金**：既可切削韧性材料，又可切削脆性材料，如不锈钢、耐热钢、高锰钢
- 冷作模具：冷拔模，冷冲模，冷挤压模，冷镦模
- 量具：镶嵌于易磨损工作面
- 耐磨零件：机床顶尖，无心磨导杠、导板

THE END

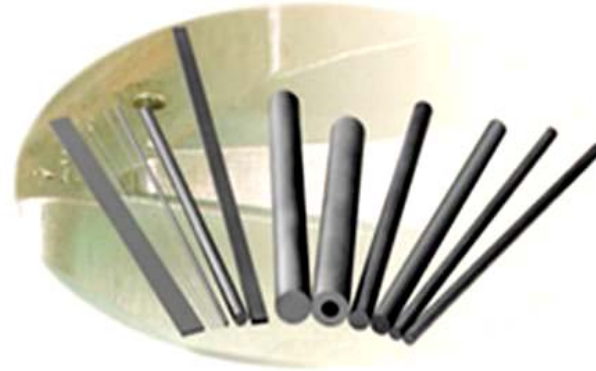


硬质合金制作的冷冲压模和冷拉模具

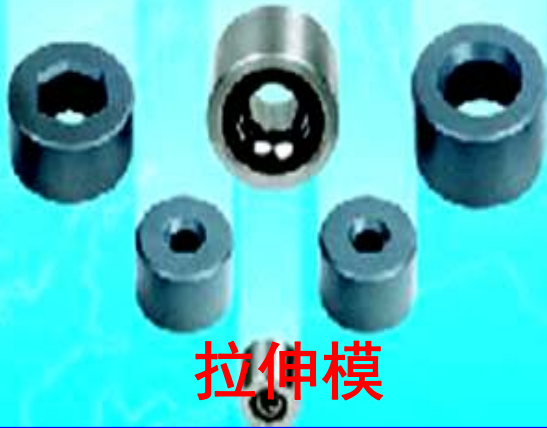
THE END



回转顶尖



挤压型材



拉伸模



钻 齿

3. 钢结硬质合金

1) 组成：碳化物 (WC, TiC) + 合金钢

↓
硬化相

↓
粘结剂

2) 特点 { 可机加工：锻造，焊接，机械切削
 { 可热处理 { 锻造退火后，40~45HRC
 { 淬火低温回火，69~73HRC

3) 应用 { 形状复杂的刀具，如麻花钻、铣刀等
 { 较高温度下工作的模具、耐磨零件等