

工程材料

专业基础必修课

北京化工大学 贾明印

jiamy@mail.buct.edu.cn

13522357136



工程材料



● 本次课内容

第4章 高分子材料

- 1、工程塑料
- 2、合成纤维
- 3、合成橡胶

第6章 复合材料

- 1、材料复合原则
- 2、复合材料性能
- 3、非金属基复合材料
- 4、金属基复合材料

第8章 零件失效与选材

- 1、零件失效形式
- 2、零件选材原则

第5章 陶瓷材料

- 1、普通陶瓷
- 2、特种陶瓷

第7章 功能材料

- 1、电功能材料
- 2、磁功能材料
- 3、热功能材料
- 4、光功能材料
- 5、隐形/智能材料
- 6、纳米材料

第9章 典型零件的选材及工艺路线设计

- 1、齿轮选材
- 2、轴类零件选材
- 3、弹簧选材
- 4、刀具选材

● 第4章 高分子材料

热固性塑料：在一定温度和压力等条件下，保持一定时间而固化，固化后再加热不再软化，也不溶于溶剂，只能塑制一次的塑料。

热塑性塑料：在特定温度范围内能反复加热软化和冷却硬化的塑料。

4.1 工程塑料 (Engineering plastics)

1、塑料的组成

1) 合成树脂

由低分子材料通过加聚或缩聚反应获得。决定塑料的性能。

2) 添加剂

填料、固化剂、增塑剂、稳定剂、其他

2、塑料的分类

1) 按树脂的性质

热固性、热塑性

2) 按使用范围分

通用、工程、耐热



聚乙烯
聚丙烯
聚苯乙烯
聚氯乙烯

2002年10月中旬，英国报纸《The Guardian》评出了“人类最糟糕的发明”，塑料袋名列其中。又有的说是十大最糟糕发明之首。

2022年我国塑料制品产量近8000万吨，全球塑料制品用量为大约4.6亿吨；

● 第4章 高分子材料 (Polymer materials)

4.1 工程塑料 (Engineering plastic)

3、常用工程塑料

1) 热塑性塑料

2) 热固性塑料



酚醛塑料保险插座和船形开关

环氧塑料EP

酚醛塑料PF

种类	名称	拉伸强度 MPa	压缩强度 MPa	弯曲强度 MPa	冲击韧性 kJ/m ²	使用温度 ℃	应用举例
热塑性塑料	热固性塑料难以再利用，不环保。现正在研究耐高温的热塑性塑料。						
	聚丙烯PP	40~45	40~60	30~50	5~10	-55~121	四化,洗衣盆,电线包皮
	聚氯乙烯PVC	30~60	60~90	70~110	4~11	-15~55	贮槽,塑料管,电缆套管
	聚苯乙烯PS	≥ 60		70~80	12 ~16	-30~75	车辆灯罩,电子设备外壳
	ABS	21~63	18~70	25~97	6 ~53	-40~90	汽车挡泥板,电机外壳
	聚酰胺PA	45~90	70~120	50~110	4 ~15	<100	轴承、螺纹连接件
	聚甲醛POM	60~75	~ 125	~ 100	~6	-40~100	化工容器,塑料手表零件
	聚碳酸酯PC	55~70	~ 85	~ 100	65 ~75	-100~130	航空挡风玻璃,帽盔
	聚四氟乙烯	21~28	~7	11~14	~98	-180~260	耐蚀、耐磨、密封件
	聚砜PSF	~ 70	~ 100	~ 105	~5	-100~150	高温轴承材料
热固性~	有机玻璃PMMA	42~50	80~ 126	75~135	1~6	-60~100	电视屏幕,仪表护罩
	酚醛塑料PF	21~56	105~ 245	56~84	0. 05 ~ 0.82	~ 110	插头,开关,电话机,刹车片,水润滑轴承
	环氧塑料EP	56~70	84~ 140	105~ 126	~5	-85~155	塑料模具,精密量具

● 第4章 高分子材料 (Polymer materials)

4.2 合成纤维 (Synthetic fibers)

1、生产方法

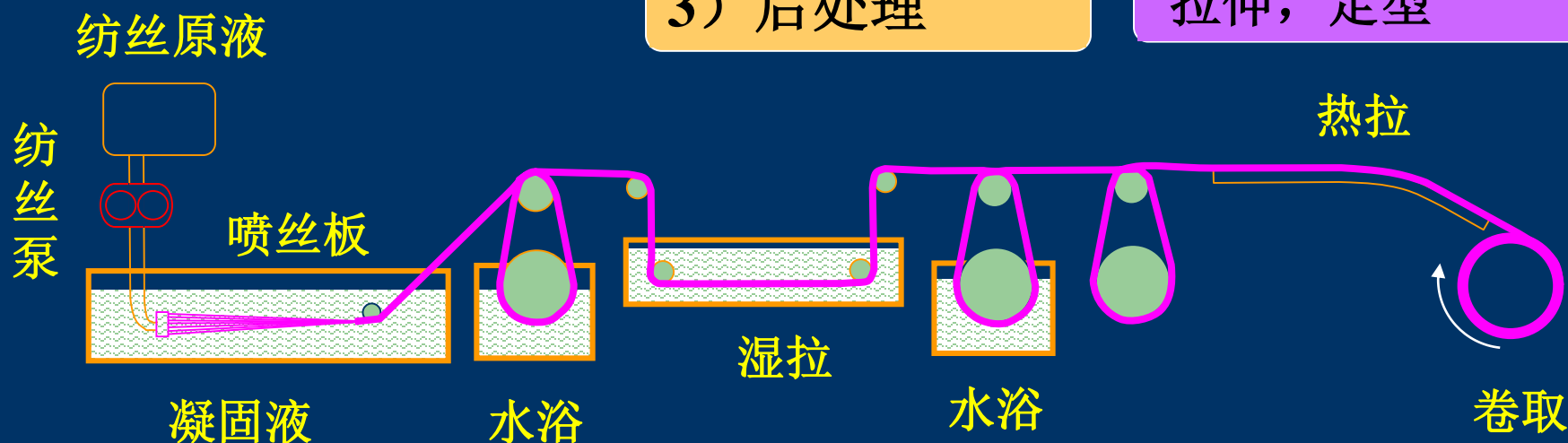
1) 成纤高聚物

2) 纺丝

3) 后处理

- 熔体纺丝
- (溶液) 湿法纺丝
- (溶液) 干法纺丝

拉伸，定型



溶液湿法纺丝流程图

● 第4章 高分子材料 (Polymer materials)

4.2 合成纤维 (Synthetic fibers)

2、常用合成纤维

化学名称	聚酯纤维	聚酰胺纤维	聚丙烯腈	聚乙烯醇	聚丙烯	聚氯乙烯
英文缩写	PET fiber	PA fiber	PAN fiber	PVA fiber	PP fiber	PVC fiber
商品名称	涤纶	锦纶(尼龙)	腈纶	维纶	丙纶	氯纶
俗称	的确良	人造毛	人造羊毛	合成棉花		
产量	>40%	30%	20%	1%	5%	1%
干态强度	中	优	优	中	优	优
湿态强度	中	中	中	中	优	中
相对密度	1.38	1.14	1.14~1.17	1.26~1.3	0.91	1.39
吸湿率	0.4~0.5	3.5~5	1.2~2.0	4.5~5	0	0
软化温度	238	180	190~230	220~230	140~150	60~90
耐磨性	优	最优	差	优	优	中
耐日光性	优	差	最优	优	差	中
耐酸性	优	中	优	中	中	优
耐碱性	优	优	优	优	优	优
特点	挺括	结实耐用	蓬松耐晒	成本低	轻\坚固	耐酸碱/难燃
应用举例	绳索/衣服	降落伞/渔网	棉衣/地毯	过滤布	军用被服	劳保用品

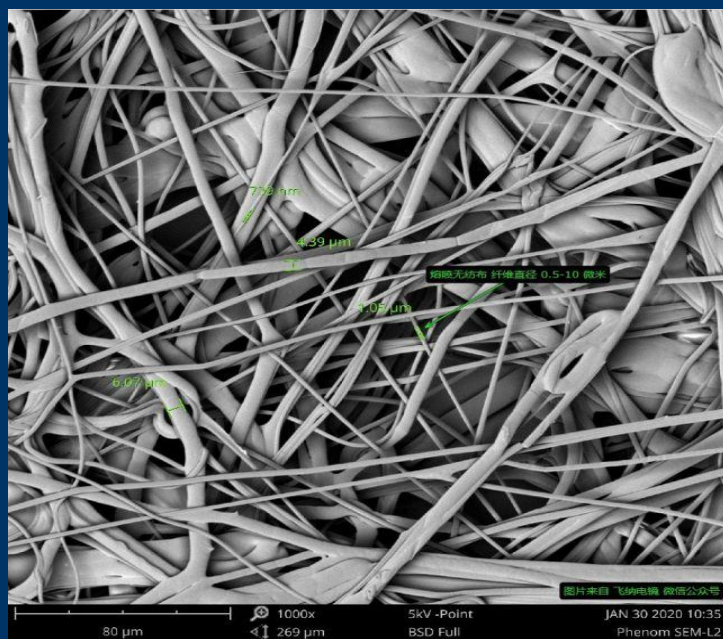
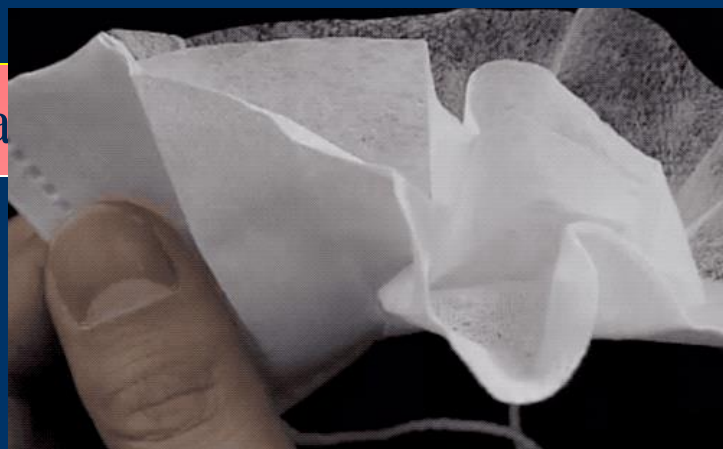
● 第4章 高分子材料 (Polymer materials)

4.2 合成纤维 (Synthetic fibers)

剪开一个已经使用过的医用口罩，你会发现：口罩有三层，（内层）吸湿层、（中层）核心过滤层、和（外层）阻水层。**熔喷布**是口罩最核心的材料，熔喷布主要以聚丙烯为主要原料，纤维直径可以达到1~5微米。

熔喷布，俗称口罩的“心脏”，是口罩中间的过滤层，能过滤细菌，阻止病菌传播。

熔喷布是一种以高熔融指数的聚丙烯为材料，由许多纵横交错的纤维以随机方向层叠而成的膜，纤维直径范围 1-5 微米，其纤维直径大约有头发丝的三十分之一。



看到图片你们是不是会担忧，熔喷布空隙这么大，是怎么过滤环境中的病毒的呢？

虽然新型冠状病毒尺寸很小，在 100 纳米（0.1微米）左右，但是病毒无法独立存在，其传播途径主要有分泌物和打喷嚏时的飞沫，飞沫的大小在 5 微米左右，这是其一，第二，熔喷布本质上是一种纤维过滤器，含有病毒的飞沫靠近熔喷布后，也会被静电吸附在表面，无法透过。

● 第4章 高分子材料 (Polymer materials)

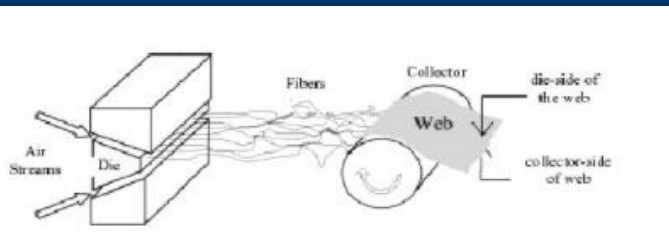
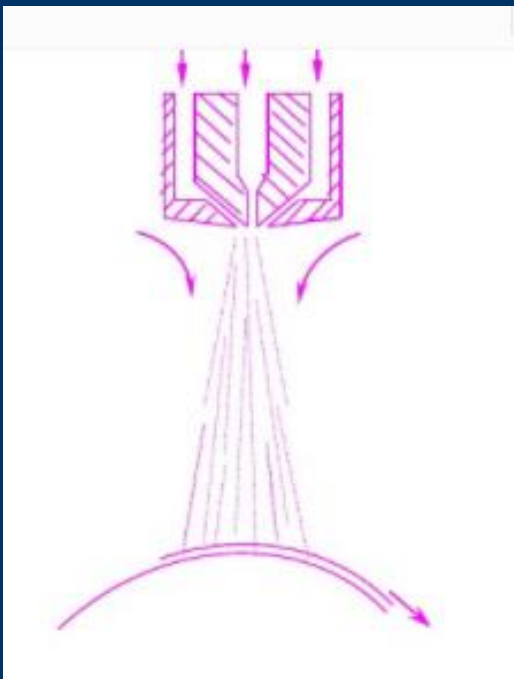
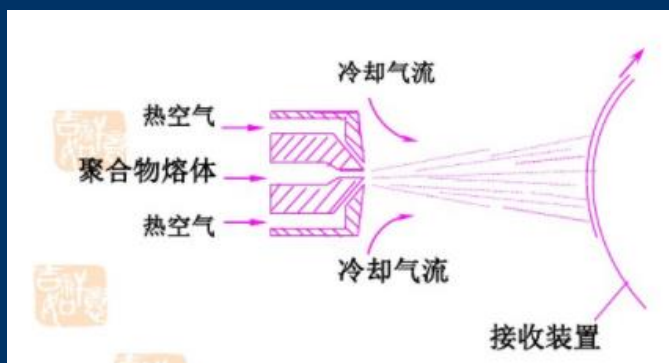
4.2 合成纤维 (Synthetic fibers)

熔喷布怎么制作的？

采用高熔融指数的聚丙烯，利用**高速热空气**对模头喷丝孔挤出的聚合物熔体细流进行喷射牵伸，由此形成超细纤维并凝聚在凝网帘或辊筒上，并依靠自身粘合而成。。

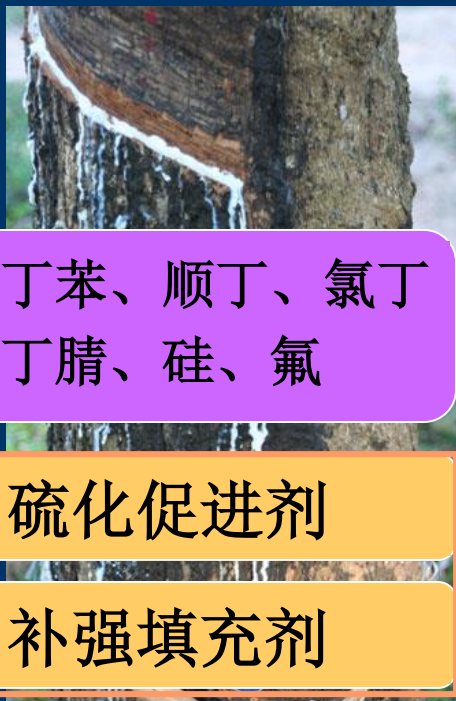


聚丙烯熔融指数越高，熔喷出的纤维就越细，制成的熔喷布过滤性也越好。



● 第4章 高分子材料 (Polymer materials)

海南天



4.3 合成橡胶

(Synthetic rubbers)

1、橡胶的分类

1) 天然橡胶

2) 合成橡胶

通用：丁苯、顺丁、氯丁
特种：丁腈、硅、氟

2、制品的组成

塑炼

混炼

硫化

1) 生胶

2) 硫化剂

3) 硫化促进剂

4) 补强填充剂

3、常用合成橡胶

1) 通用橡胶

丁苯橡胶

用量80%,价廉/耐磨, 轮胎/胶管

顺丁橡胶

弹性好/强度低,轮胎/弹簧/鞋底

氯丁橡胶

耐燃/不耐寒,电线/电缆的外皮

丁腈橡胶

耐油,密封圈等耐油制品

2) 特种橡胶

硅橡胶

耐热耐寒, 航空/航天密封件

氟橡胶

耐腐蚀, 密封件

● 第5章 陶瓷材料 (Ceramic materials)

陶瓷材料的定义

陶、瓷

硅酸盐类材料

无机非金属材料

陶瓷材料的分类

玻璃

玻璃陶瓷

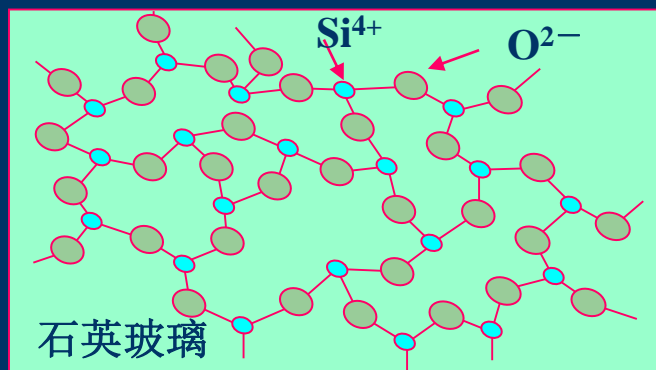
工程陶瓷

普通陶瓷

普通日用~

普通工业~

玻璃陶瓷：细微的晶相和残余的玻璃相组合而成。



电子陶瓷

电工陶瓷

化工陶瓷

化学陶瓷

建筑陶瓷

粘土

石英

长石

拣选、破碎、
成形、烧结

陶瓷

晶体相

玻璃相

气相

● 第5章 陶瓷材料 (Ceramic materials)

陶瓷材料的定义

陶、瓷

硅酸盐类材料

无机非金属材料

氧化物~: 氧化铝/氧化铍/氧化锆等

- 1、高温 ($> 1200^{\circ}\text{C}$) 抗氧化性能好, 作耐火材料, 坩埚、火花塞等;
- 2、微晶刚玉 (晶体尺寸 $50\sim 280\mu\text{m}$) 的硬度极高, 做磨料和刀具材料。

碳化物~: 碳化硅/碳化硼等

- 1、熔点、硬度很高, 耐磨性很好, 但高温 ($> 900^{\circ}\text{C}$) 易氧化, 适合做砂轮磨料。

硼化物~: 硼化钼/硼化钛等

- 1、硬度高, 耐高温 ($> 1400^{\circ}\text{C}$), 做高温喷嘴等。

氧化物~

碳化物~

硼化物~

氮化物~

化工陶瓷

化学陶瓷

建筑陶瓷

氮化物~: 氮化硅/氮化硼等

- 1、氮化硅: 硬度高, 摩擦小, 自润滑, 耐高温 ($> 1200^{\circ}\text{C}$), 高温轴承;
- 2、氮化硼: 硬度低, 摩擦小, 自润滑, 耐高温 ($> 1925^{\circ}\text{C}$), 润滑剂等

● 第6章 复合材料 (Composite materials)

复合材料的定义

以显著量存在的两种或多种不同组成、不同存在形式材料的混合物。

复合材料的分类

按性能高低分

先进复合材料：碳纤维、陶瓷纤维增强的耐高温复合材料。

按产生方式分

- ✓ 普通复合材料
- ✓ 先进复合材料

- ✓ 天然复合材料
- ✓ 人工复合材料

按基体相的种类分

- ✓ 聚合物基复合材料
- ✓ 金属基复合材料
- ✓ 陶瓷基复合材料
- ✓ 混凝土基复合材料

按增强相的种类分

- ✓ 颗粒增强材料
- ✓ 晶须增强材料
- ✓ 纤维增强材料

按增强相的形态分

- ✓ 零维（颗粒）
- ✓ 一维（纤维）
- ✓ 二维（平面编织体）
- ✓ 三维（空间编织体）

按用途分

- ✓ 结构复合材料
- ✓ 功能复合材料
- ✓ 智能复合材料

晶须：由高纯度单晶生长而成的短纤维。

● 第6章 复合材料 (Composite materials)

材料的复合原则

纤维增强材料的~

颗粒增强材料的~

- ✓ 纤维高强度、高模量
- ✓ 基体湿润纤维，韧/塑性好
- ✓ 二者结合强度适当
- ✓ 二者热膨胀系数接近

复合材料性能特点

- ✓ 比强度、比模量大
- ✓ 抗疲劳、断裂能力强
- ✓ 高温性能好
- ✓ 减摩、耐磨、减振

- ✓ 颗粒高度弥散
- ✓ 颗粒尺寸适当
- ✓ 颗粒体积含量>20%
- ✓ 一定的结合强度

非金属基复合材料

聚合物基~

陶瓷基~

碳基~



以石墨为基体以碳纤维为增强相的产品

金属基复合材料

金属陶瓷

纤维增强金属基~

颗粒和晶须增强金属基~

	YG8	YT15
WC	92	79
TiC	0	15
Co	8	6
HRA	89	91

● 第6章 复合材料 (Composite materials)

研究方向：高性能纤维增强热塑性复合材料成型技术与装备



长玻纤增强PP



长玻纤增强PA



长碳纤增强PA

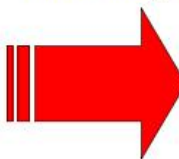


长玻纤增强PPO



- ◆ Long Glass Fiber Reinforced PP Pellets
- ◆ Pellet Length(=Fiber Length):5~30mm
- ◆ GF Content: 10~50wt. %
- ◆ Formulation: FUNCSTER, Neat Resin, Color MB

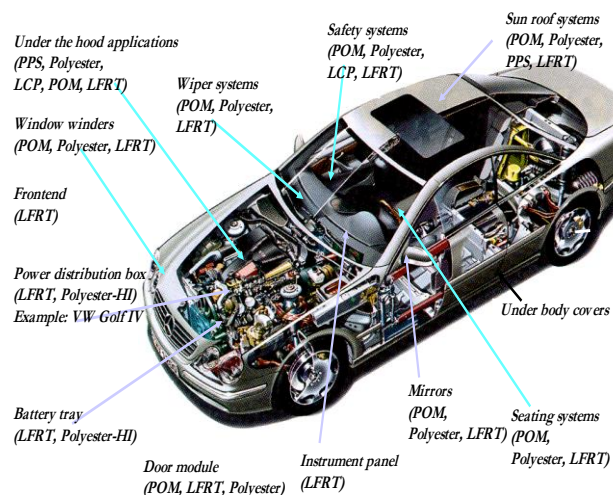
Injection
Molding



For Functional Parts



For Semi Structures

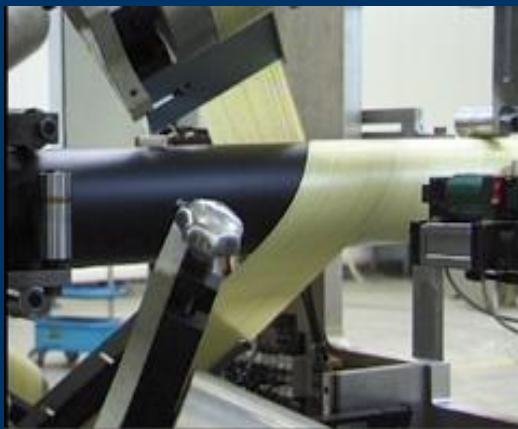


● 第6章 复合材料 (Composite materials)

研究方向：高性能纤维增强热塑性复合材料成型技术与装备

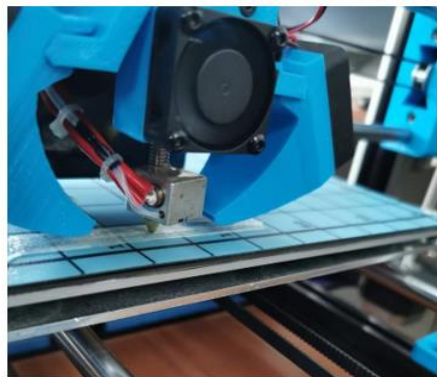


力学性能	连续玻纤浸渍PE片材	连续玻纤浸渍PP片材
片材厚度, mm	0.35mm	0.35mm
玻纤含量, %	60 (50-60)	60 (50-60)
拉伸强度, MPa	500	680
拉伸模量, GPa	25	27
弯曲强度, MPa	350	430
弯曲模量, GPa	20	24
热变形温度, °C	120	150



● 第6章 复合材料 (Composite materials)

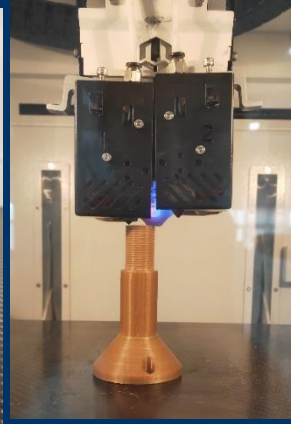
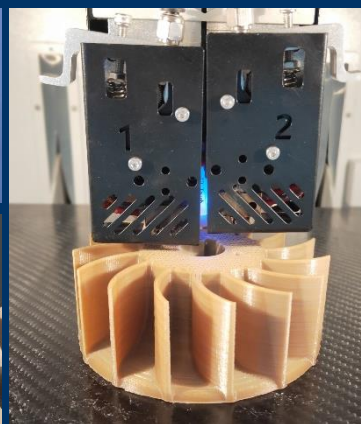
研究方向：高性能纤维增强热塑性复合材料成型技术与装备



(a) 制备的连续玻纤/PLA预浸丝

(b) 连续玻纤PLA打印过程

(c) 打印试样



● 第7章 功能材料 (Functional materials)

功能材料的概念： 具有某种或某些特殊物理性能或功能的材料。

电功能材料

金属导电材料

金属电接点材料

金属电阻材料

导电高分子材料

超导材料

T_c： 临界转变温度

H_c： 临界磁场强度

J_c： 临界电流密度

第一类超导材料：**H_c**

第二类超导材料：**H_{c1}, H_{c2}**

磁功能材料

软磁材料(如纯铁)

永磁材料(如高碳钢)

信息磁材料

低温超导材料:**T_c<-250 °C**

高温超导材料:**T_c>-196 °C**

✓ 磁记录材料

✓ 磁泡材料

✓ 磁光材料

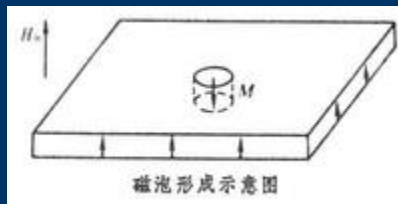
✓ 微波磁吸收材料

✓ **Al-Ni-Co**系永磁合金

✓ 永磁铁氧体

✓ 稀土永磁材料（钕铁硼）

✓ **Fe-Cr-Co**系永磁材料



● 第7章 功能材料 (Functional materials)



热功能材料

热膨胀材料

✓ 低膨胀材料：精密标尺

✓ 高膨胀材料：温控开关

形状记忆材料

✓ 单程记忆：高温恢复形状

✓ 双程记忆：高、低温恢复形状

✓ 全程记忆：更低温时反变形

测温材料

隔热材料

光功能材料

固体激光器材料

产生激光：红宝石等

信息显示材料

✓ 主动式显示用发光材料：电视

✓ 被动式显示用发光材料：液晶

光纤材料

✓ 通信光纤：海底光缆

✓ 非通信光纤：医用内窥镜

隐形/智能材料

隐形材料

智能材料

✓ 吸波隐形材料：防雷达

✓ 红外隐形材料：防热成像仪

纳米材料

尺寸纳米级/性能特殊

● 小结

● 金属材料

金属键

● 钢

● 铸铁

● 有色金属及其合金

● 高分子材料

分子键

共价键

● 工程塑料

● 合成纤维

● 合成橡胶

● 粘结剂

● 陶瓷材料

离子键

共价键

● 普通陶瓷

● 特殊陶瓷

● 复合材料

多种键

● 金属基复合材

● 非金属基复合材料

第8章 零件失效与选材原则

零件的尺寸、形状、性能发生变化而不能圆满完成指定的功能。

零件失效

失效的分类

失效的原因

失效分析（略）

- ✓设计原因
- ✓材质原因
- ✓制造原因
- ✓装配原因
- ✓运行原因
- ✓人为原因

选材原则

韧性断裂（韧性：由夹杂物或较粗大的沉淀物引起的微孔被扩大）

状况
状况
要求

子材料
材料只

→切
→粗
冬热→

失效模式(failure modes)

失效机理(~mechanisms)

畸变失效

弹性变形失效

弹性变形

塑性变形失效

塑性变形

翘曲畸变失效

弹、塑性变形

断裂失效

韧性断裂失效

塑性变形

脆性断裂失效

断裂韧性

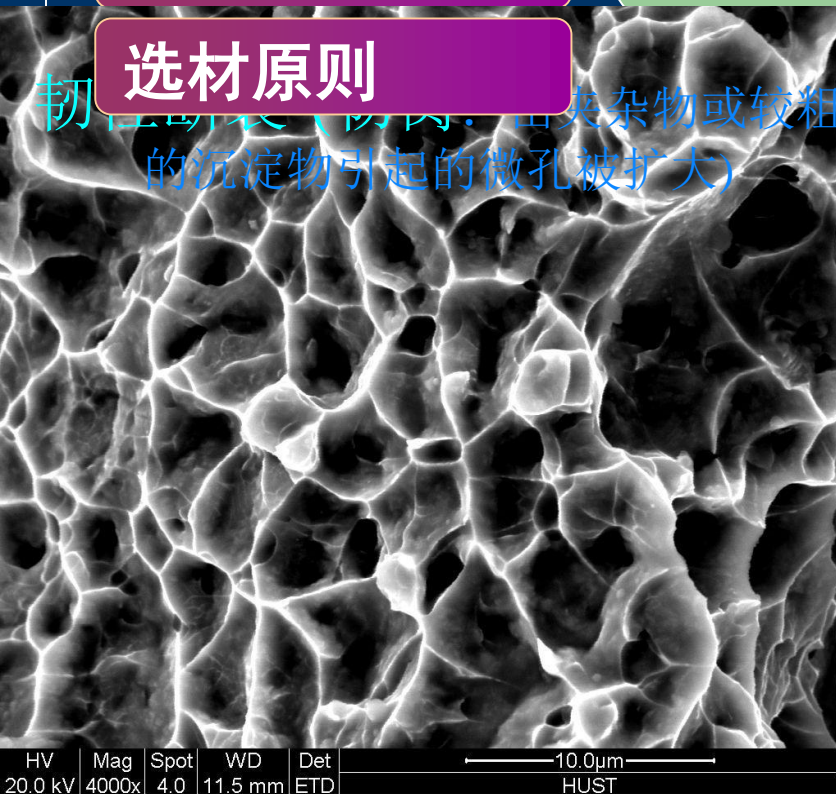
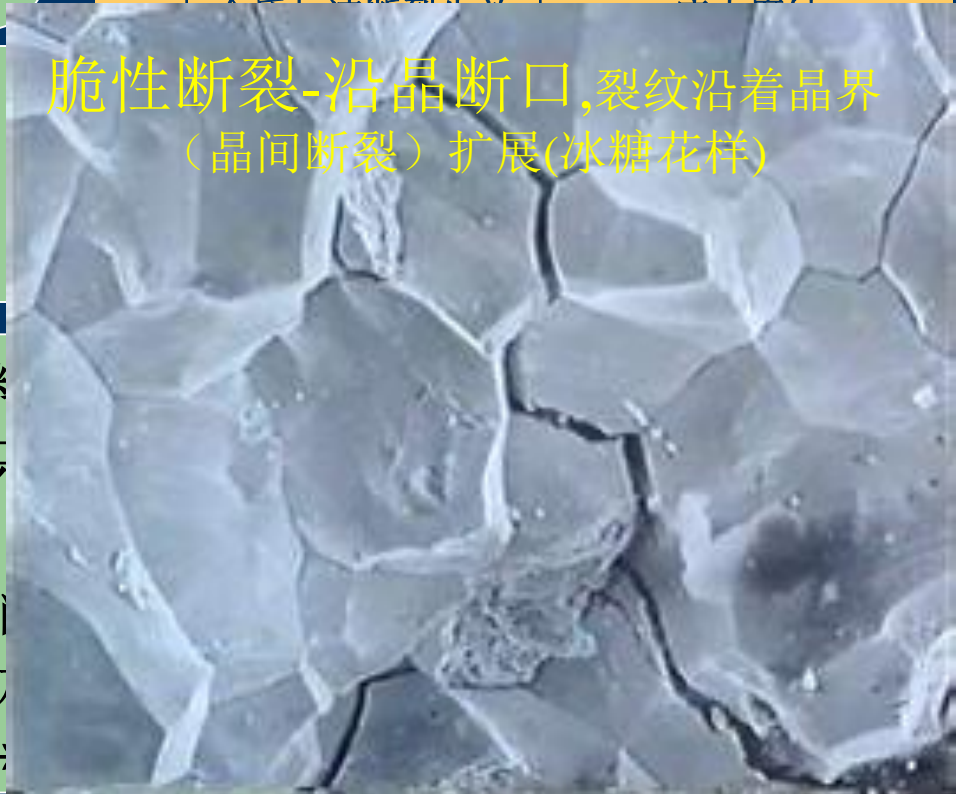
疲劳断裂失效

疲劳

蠕变断裂失效

蠕变断裂

脆性断裂-沿晶断口,裂纹沿着晶界
(晶间断裂)扩展(冰糖花样)



● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

内容提要：

本章重点阐明齿轮、轴类零件、弹簧和刀具的工作条件、失效形式、性能要求及选材分析，举例说明典型工件的工艺路线。

学习目标：

本章是课程的重点章。要求掌握齿轮（机床和汽车齿轮）、轴类零件、刀具的选材，进行工艺路线分析。
熟悉弹簧的选材。

● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

一、齿轮选材

工作条件与失效形式对材料的性能要求

- ✓ 齿根承受较大的交变弯曲应力；①
- ✓ 换挡、启动时，齿部承受一定的冲击载荷；
- ✓ 齿面承受很大的交变接触压应力和摩擦力

- ✓ 疲劳断裂 ②
- ✓ 过载断裂
- ✓ 齿面磨损/疲劳破坏

齿轮类零件的选材

机床齿轮

- ✓ 中、低碳钢或中、低碳合金钢

汽车齿轮

- ✓ 合金渗碳钢20Cr或20CrMnTi制造

- ✓ 高的弯曲疲劳强度 ③
- ✓ 较高的强度和冲击韧性
- ✓ 高的接触疲劳强度和硬度



● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

一、齿轮选材

1、机床齿轮

选材：一般可选低碳钢或中碳钢(45钢)制造，为了提高淬透性，也可选用中碳合金钢(40Cr钢)。**调制钢**

2、汽车齿轮

选材：一般用合金渗碳钢20Cr或20CrMnTi制造。**渗碳钢**

为什么二者选材不同？为什么机床齿轮不用合金渗碳钢？

因为工况不同，两者的耐冲击和磨损要求不一样，所以材料选择有别。

机床齿轮：工作条件较好，转速中等，载荷不大，工作平稳无强烈冲击。汽车齿轮受力较大，受冲击频繁，其耐磨性、疲劳强度、心部强度以及冲击韧性等，均要求比机床齿轮高。汽车、拖拉机齿轮的工作条件比机床齿轮要繁重得多，因此在耐磨性、疲劳强度、心部强度和冲击韧性等方面的要求均比机床齿轮为高。实践证明，汽车、拖拉机齿轮选用渗碳钢制造并经渗碳热处理后使用是较为合适。

● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计



机床变速箱齿轮

一、齿轮选材

1、机床齿轮

✓中、低碳钢或中、低碳合金钢

机床变速箱齿轮担负传递动力，改变运动速度和方向的任务。工作条件较好，转速中等，载荷不大，工作平稳无强烈冲击。

选材：一般可选低碳钢或中碳钢(45钢)制造，为了提高淬透性，也可选用中碳合金钢(40Cr钢)。

✓15：下料→锻造→正火→粗加工→半精加工→渗碳→淬火→低温回火→精磨

✓40Cr：下料→锻造→正火→粗加工→**调质**→精加工→轮齿高频淬火→低温回火→精磨

其它机床齿轮材料：冲击载荷小的低速齿轮可采用HT250、HT350、QT500-5、QT600-2等铸铁制造。

● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

一、齿轮选材

2、汽车齿轮

✓ 合金渗碳钢20Cr或20CrMnTi制造

汽车齿轮主要装在变速箱和差速器中。

汽车齿轮受力较大，受冲击频繁，其耐磨性、疲劳强度、心部强度以及冲击韧性等，均要求比机床齿轮高。

选材：一般用合金渗碳钢20Cr或20CrMnTi制造。

✓ 20Cr、20CrMnTi：料→锻→正→粗→半精→渗碳→**淬火**→**低温回火**→喷丸→精磨



汽车后桥齿轮

● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

二、轴类零件选材

工作条件与失效形式对材料的性能要求

- ✓ 交变弯曲和扭转应力的复合作用； ①
- ✓ 多数轴会承受一定的过载载荷和冲击载荷；
- ✓ 轴与轴上零件间存在运动，产生摩擦磨损

- ✓ 高的疲劳强度 ③
- ✓ 良好的综合机械性能
- ✓ 表面高硬度、高耐磨性

- ✓ 疲劳断裂 ②
- ✓ 过载断裂
- ✓ 轴面磨损

轴类零件的选材

经锻造或轧制的低、中碳钢或合金钢制造（兼顾强度和韧性，同时考虑疲劳抗力）；

- 一般轴类零件使用碳钢。如35、40、45、50钢；
- 载荷较大、轴颈的耐磨性要求高时采用合金调质钢：40Cr、40MnB、40CrNiMo 或者渗碳钢：20Cr、20CrMnTi
- 曲轴可采用球墨铸铁和高强度灰铸铁。

选择原则 根据载荷大小、类型等决定。

- 主要受扭转、弯曲的轴，可不用淬透性高的钢种；
- 受轴向载荷轴，因心部受力较大，材料应具有较高淬透性。

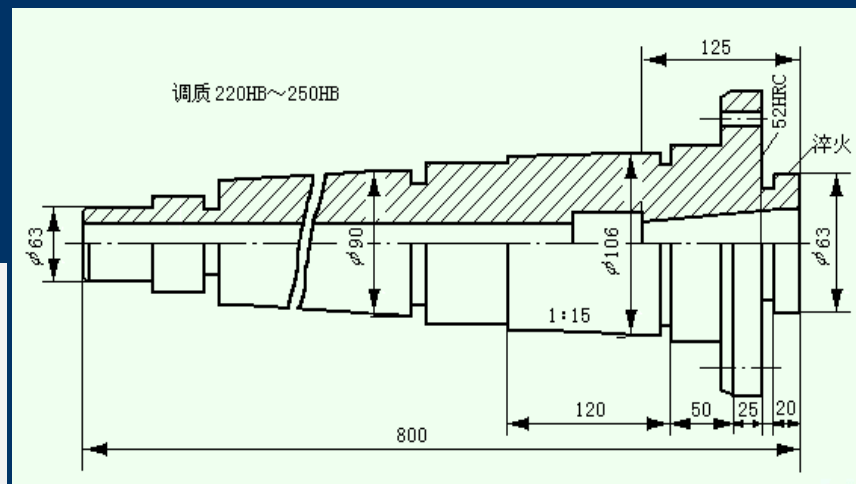
● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

二、轴类零件选材

1、机床主轴

主轴受交变弯曲和扭转复合应力作用，载荷和转速不高，冲击载荷不大。

具有一般**综合机械性能**即可满足要求。



C620车床主轴用45钢制造

☆ 练习：制定工艺路线

✓45：下料→锻→正→粗→**调质**→精→表淬→**低回**→精磨

其它主轴材料：

- 载荷较大的主轴用40Cr钢制造。
- 承受较大**冲击载荷和疲劳载荷**的主轴用合金渗碳钢（20Cr或20CrMnTi）制造。

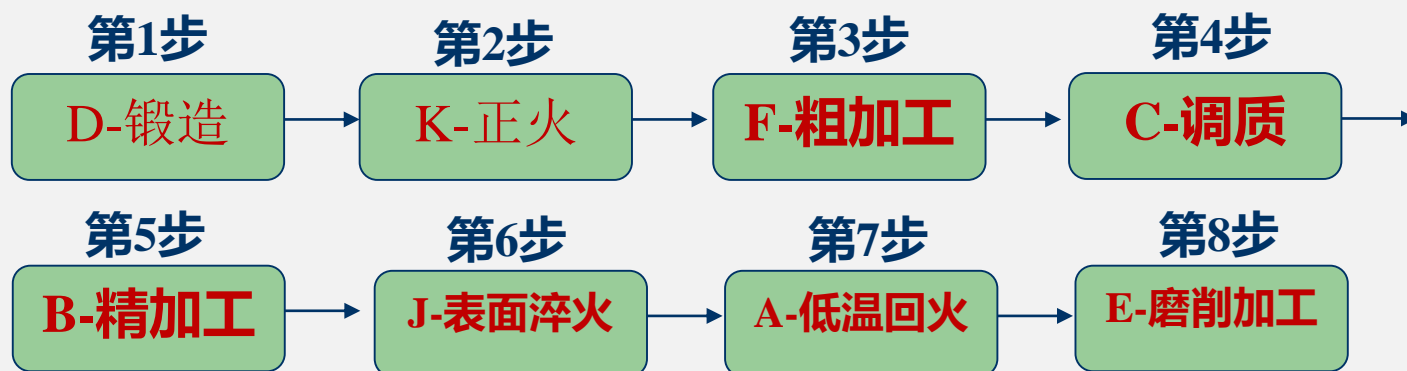
● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

二、轴类零件选材

制定工艺路线:

车床主轴用45钢制造，整体硬度要求为220HB~250HB，轴颈和锥孔硬度要求为52HRC，请设计工艺路线。

请选项：A-低温回火；B-精加工；C-调质；D-锻造；E-磨削加工；
F-粗加工；G-渗碳；H-预冷淬火；J-表面淬火；K-正火；



● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

二、轴类零件选材

2、挤出机螺杆

螺杆均悬臂安装于挤出机的机筒中，受弯、扭作用，要求其具有良好的综合力学性能，表面高的表面硬度（HV1000~1200），并具有良好的耐腐蚀性能。

选材：合金调质钢38CrMoAlA钢制造

✓38CrMoAl：下料→锻→正→粗→调质→精→氮化→精磨

老师提示：

挤出机、注塑机的螺杆、机筒均采用38CrMoAlA钢制



● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

二、轴类零件选材

3、内燃机曲轴



(1) 工作条件

曲轴受弯曲、扭转、剪切、拉压、冲击等交变应力。

造成曲轴的扭转和弯曲振动，应力分布不均匀；

曲轴颈与轴承有滑动摩擦。

(2) 性能要求

失效形式主要是疲劳断裂和轴颈严重磨损。

材料要有高强度、一定的冲击韧性。

要有足够弯曲、扭转疲劳强度和刚度。

轴颈表面有高硬度和耐磨性。

(3) 曲轴材料

● **锻钢曲轴**：优质中碳钢和中合金钢，如35、40、45、35Mn2、40Cr, 35CrMo钢等；

● **铸造曲轴**：

铸钢： ZG25

球墨铸铁： QT600-3、QT700-2

珠光体可锻铸铁及合金铸铁：

KTZ450-5

KTZ500-4

● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

二、轴类零件选材

3、内燃机曲轴



农用柴油机曲轴性能要求

农用柴油机曲轴功率和承受载荷不大；但滑动轴承中工作轴颈部要有较高硬度及耐磨。

要求 $\sigma_b \geq 750 \text{ MPa}$, $\delta \geq 2\%$, $a_k \geq 150 \text{ kJ/m}^2$

整体硬度 240 HBS ~ 260 HBS

轴颈表面硬度 $\geq 625 \text{ HV}$ 。

曲轴材料：QT700-2

✓ QT700-2: 铸 → 高温正火 → 570℃ 去应力 → 切削加工 → 轴颈氮化 → 精磨

老师提示 汽车发动机曲轴也可用45、40Cr钢制造，经过模锻、调质、切削加工后，在轴颈部位进行表面淬火。但是，优选渗碳钢。

● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

三、弹簧选材

工作条件与失效形式对材料的性能要求

- ✓ 承受弯曲应力和扭转应力； ①
- ✓ 承受交变应力和冲击载荷；
- ✓ 有时承受腐蚀和高温作用

- ✓ 塑性变形 ②
- ✓ 疲劳断裂和快速脆性断裂
- ✓ 应力腐蚀断裂

弹簧的选材

- ✓ 中、高碳钢
- ✓ 合金弹簧钢
- ✓ 不锈钢/铜合金

- ✓ 高的弹性极限和屈强比 ③
- ✓ 高的疲劳强度和表面质量
- ✓ 良好的耐蚀性和耐热性



继电器簧片



气门弹簧



汽车板簧

● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

三、弹簧选材

1、汽车板簧

用于缓冲和吸振，承受很大的交变应力和冲击载荷的作用，需要高的屈服强度和疲劳强度。

选材

- 轻型汽车板簧 65Mn、60Si2Mn
- 中型或重型汽车板簧 50CrMn, 55SiMnVB
- 重型载重汽车大截面板簧 55SiMnMoV, 55SiMnMoVNB

✓ 60Si2Mn: 下料→**压力成型**→**淬火**→中温回火→喷丸

主要工艺说明

淬火 温度为850 °C ~ 860 °C (60Si2Mn钢为870 °C), 采用油冷, 淬火后组织为马氏体。

中温回火 温度为420 °C ~ 500 °C, 组织为?



● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

三、弹簧选材

2、火车螺旋弹簧

机车和车箱的缓冲和吸振, 其使用条件和性能要求与汽车板簧相近。

选材

50CrMn、 55SiMnMoV



✓50CrMn: 下料→两头制扁→**热卷成型**→淬火→中温回火→喷丸→端面磨平

淬火与回火工艺同汽车板簧

淬火 温度为850 °C ~ 860 °C (60Si2Mn钢为870 °C), 采用油冷, 淬火后组织为马氏体。

中温回火 温度为420 °C ~ 500 °C, 组织为回火屈氏体。

● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

三、弹簧选材

3、气门弹簧

内燃机气门弹簧是一种压缩螺旋弹簧。

用途是在凸轮、摇臂或挺杆的联合作用下,使气门打开和关闭,承受应力不是很大。

采用淬透性比较好、晶粒细小、有一定耐热性的50CrVA钢制造。



气门弹簧

✓50CrVA: 冷卷成型→淬火→中温回火→喷丸→端磨平

4、继电器簧片

有好的弹性、导电性和耐蚀性。

✓黄铜(H70)、锡青铜(QSn6.5-0.1)、白铜(B19):
冲裁成型



继电器簧片

● 第9章 典型工件的选材及

四、刀具选材



切削加工使用的车刀、铣刀、钻头、锯条、丝锥、板牙等工具统称为刀具。

工作条件与失效形式对材料的性能要求

- ✓ 承受弯曲应力和扭转应力； ①
- ✓ 与工件摩擦，承受500-600℃高温作用；
- ✓ 承受较大的冲击与振动

- ✓ 断裂 ②
- ✓ 磨损、刃部软化
- ✓ 断裂

刀具的选材

- ✓ 碳素工具钢
- ✓ 低合金刀具钢
- ✓ 高速钢
- ✓ 硬质合金/陶瓷

- ✓ 较高的强度 ③
- ✓ 高硬度、高红硬性
- ✓ 较高的韧性和淬透性

● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

四、刀具选材

◆ 简单的手用刀具

手锯锯条、锉刀、木工用刨刀、凿子等简单、低速的手用刀具红硬性和强韧性要求不高，主要的使用性能是高硬度、高耐磨性。

用碳素工具钢制造。如T8、T10、T12钢。100 °C以下使用

碳素工具钢价格较低, 但淬透性差。

◆ 低速切削、形状较复杂的刀具

丝锥、板牙、拉刀等可用低合金刀具钢9SiCr、CrWMn制造。

钢中加入Cr、W、Mn等元素, 使钢的淬透性和耐磨性大大提高, 耐热性和韧性也有所改善。

可在< 300 °C的温度下使用。

● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

四、刀具选材

◆ 高速切削用的刀具

(1)用高速钢(W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2)制造

具有高硬度、高耐磨性、高的红硬性、好的强韧性和高的淬透性。

在刀具制造中广泛使用,用来制造车刀、铣刀、钻头和其它复杂、精密刀具。

高速钢的硬度为62HRC~68HRC,切削温度可达500℃~550℃,价格较贵。

(2)用硬质合金制造

常用的有YG6、YG8、YT6、YT15等。

硬质合金的硬度很高(89HRA~94HRA),耐磨性、耐热性好,使用温度可达1000℃。它的切削速度比高速钢高几倍。

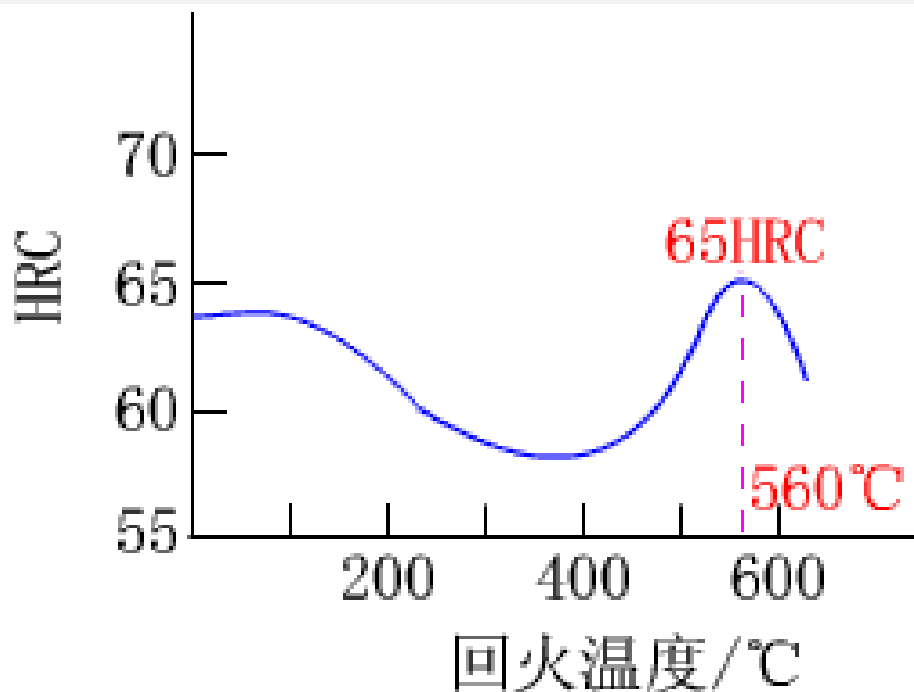
硬质合金制成形状简单的刀头,用钎焊将刀头焊接在碳钢制造的刀杆或刀盘上。

硬质合金刀具用于高速强力切削和难加工材料的切削。硬质合金的抗弯强度较低,冲击韧性较差,价格贵。

● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

四、刀具选材

问题：为什么高速切削刀具钢（W18Cr4V）能在高速下使用的原因？或者为什么能在500 °C ~ 600 °C下使用？



高速钢W18Cr4V硬度与回火温度的关系
高速钢通常在二次硬化峰值温度或稍高一些的温度（550-570°C）

Mo、W、V含量较高的合金钢回火时, 硬度不是随回火温度升高单调降低, 到某一温度(约400 °C)后开始增大, 并在更高温度(一般为550 °C左右)达到峰值。称**二次硬化**现象。

产生二次硬化的原因

在450 °C以上渗碳体溶解, 钢中开始沉淀出弥散稳定的难熔碳化物 Mo_2C 、 W_2C 、 VC 等, 使硬度升高, 称为**沉淀硬化（第二相强化）**。

● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

四、刀具选材

1、板锉

板锉是钳工常用的手用工具,用于锉削其他金属。其表面刃部要求有高的硬度(64 HRC ~ 67 HRC), 柄部要求硬度 < 35 HRC。

选材: T12钢

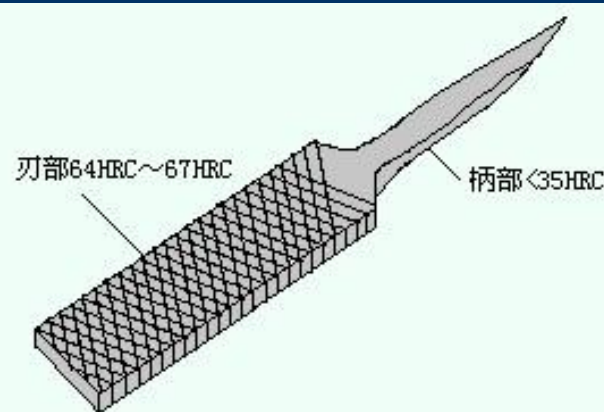
✓T12: 下料→锻柄部→球退→机加工→淬火→低回

主要工艺说明

(1)球化退火

使钢中碳化物呈粒状分布, 细化组织, 降低硬度, 改善切削加工性能。为淬火作组织准备, 细小的碳化物颗粒提高钢的耐磨性。处理后组织为球化体, 硬度为180 HB ~ 200 HB。

(2)机加工 刨、磨和剁齿, 使锉刀成形。



● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

刀具选材

1、板锉

✓T12: 下料→锻柄部→球退→机加工→淬火→低回

主要工艺说明

组织: 回火马氏体+少量残余奥氏体

(3)淬火

温度为 $770\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 780\text{ }^{\circ}\text{C}$, 用融盐加热或在保护气氛炉中加热, 防止表面脱碳和氧化。水冷。

锉刀柄部硬度要求较低, 在淬火时先将齿部放在水中冷却, 待柄部颜色变成暗红色时才全部浸入水中(为什么?)。当锉刀冷却到 $150\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 提出水面。若锉刀有弯曲变形, 用木锤校直。

(4)低温回火

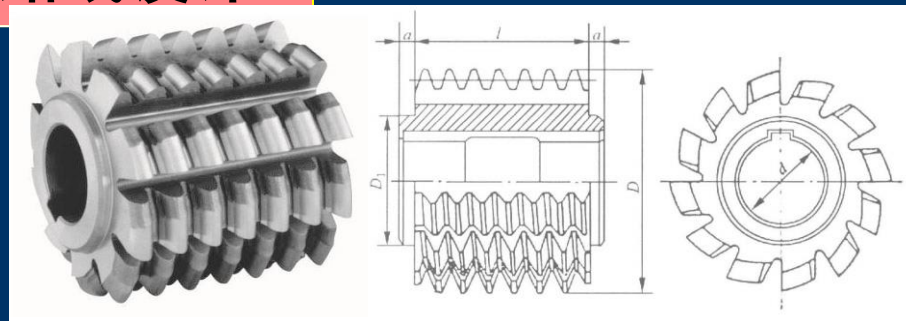
温度为 $160\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 180\text{ }^{\circ}\text{C}$, 时间 $45\text{ min} \sim 60\text{ min}$ 。

若柄部硬度太高, 可将柄部浸入 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的融盐中进行回火, 或用高频加热回火降低柄部硬度。最后得到的组织?

● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

四、刀具选材

2、齿轮滚刀



生产齿轮的常用刀具, 用于加工外啮合的直齿和斜齿渐开线圆柱齿轮。要求硬、耐磨性高。其形状复杂, 精度要求高。选材: 高速钢(W18Cr4V)

✓W18Cr4V: 料→锻→球→粗→淬→回→精→表面处理

主要工艺说明

(1)锻造

W18Cr4V钢的始锻温度为 $1150^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$, 终锻温度为 $900^{\circ}\text{C} \sim 950^{\circ}\text{C}$

(2)球化退火

退火温度为 $870^{\circ}\text{C} \sim 880^{\circ}\text{C}$, 组织为索氏体基体和均匀分布的细小粒状碳化物。便于机加工, 并为淬火作好组织准备。

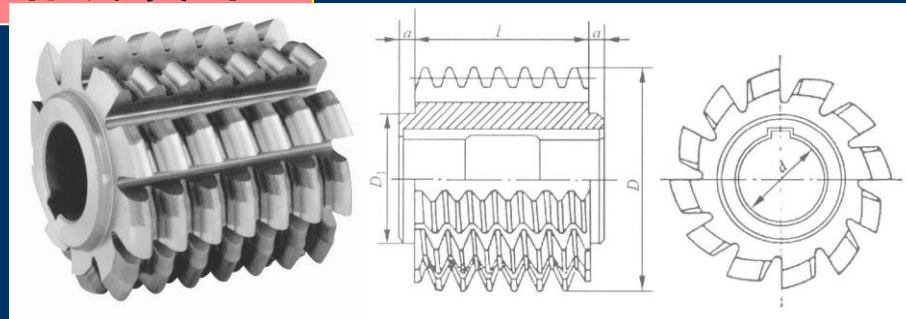
(3)淬火、回火

淬火温度: 一般为 $1220^{\circ}\text{C} \sim 1280^{\circ}\text{C}$; 回火: $550^{\circ}\text{C} \sim 570^{\circ}\text{C}$ 回火三次
组织: 回火马氏体、细粒状碳化物及少量残余奥氏体。

● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

四、刀具选材

2、齿轮滚刀



(3) 淬火、回火

淬火温度：一般为 $1220^{\circ}\text{C} \sim 1280^{\circ}\text{C}$ ；回火： $550^{\circ}\text{C} \sim 570^{\circ}\text{C}$ 回火三次

组织：回火马氏体、细粒状碳化物及少量残余奥氏体。

◆ 问题1：为什么淬火温度高？

一般为 $1220^{\circ}\text{C} \sim 1280^{\circ}\text{C}$ ，使碳化物溶于奥氏体中，在冷却时可析出细小的粒状碳化物。



● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

四、刀具选材

2、齿轮滚刀

✓W18Cr4V: 料→锻→球→粗→淬→回→精→表面处理

◆ 问题2: 回火温度550~570 °C?

Mo、W、V含量较高，可产生二次硬化。

由于高合金含量，回火稳定性增大，在回火时仍得到回火马氏体。区别

◆ 问题3: 为什么采用三次回火?

减少残余A的量，第一次回火后部分残余A转变为M，第二次回火后又有一部分A残转变为M...

(4)精加工

包括磨孔、磨端面、磨齿等磨削加工。精加工后刀具可直接使用。

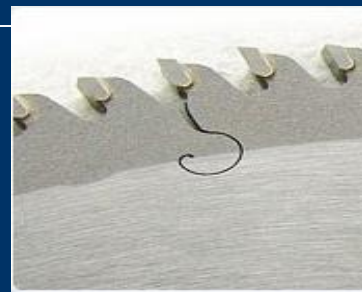
(5)表面处理

硫化处理、硫氮共渗、离子氮碳共渗—离子渗硫复合处理，表面涂覆TiN、TiC涂层等。提高使用寿命。

● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

四、刀具选材

3、镶齿圆锯片



切割钢材、有色金属、石料、塑料等材料。整体强韧性好，锯齿硬度高、耐磨性好。园锯片可以是整体的，也可以是镶齿的。

选材：镶齿式园锯片的本体用60或65Mn钢制造，锯齿用高速钢刀片或硬质合金刀片。

✓65Mn：料→冲孔→调质→机加工→钎焊YG6 →磨齿

主要工艺说明

(1)调质

调质处理：淬火加热温度为 $830\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 840\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、采用油冷。回火温度为 $500\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。为校正园锯片淬火变形，回火时用夹具夹紧。

回火后的组织为？（**回火索氏体**，强韧性好。）

(2) 钎焊

热处理后锯片需进行端面磨平、开槽等机加工，用钎焊方法将锯齿焊接在锯片本体上，最后进行磨齿。

● 第9章 典型工件的选材及工艺路线设计

练习：材料的选择和使用

1、为下列零件从括号内选择合适的制造材料，说明理由，并指出应采用的热处理方法：

汽车板簧（45，60Si2Mn，LY1）

机床床身（Q235，T10A，HT150）

受冲击载荷的齿轮（40MnB，20CrMnTi，KT250—4）

桥梁构件（Q345，40钢，3Cr13）

滑动轴承（GCr15，ZChSnSb11—6，耐磨铸铁）

热作模具（陶瓷材料，Cr11MoV，5CrNiMo）

高速切削刀具（W6Mo5Cr4V2，T8，YG15）

凸轮轴（9SiCr，QT800—2，40Cr）

轻载小齿轮（20CrMnTi，纤维增强酚醛树脂复合材料，尼龙66）

发动机气门（40Cr，4Cr9Si2，Si₃N₄）

耐热钢

● 本次课小结

第9章 小结

1. 齿轮选材

机床齿轮用中碳钢、中碳合金钢 (45、40Cr)

汽车齿轮用合金渗碳钢 (20CrMnTi)

2. 轴类零件选材

机床主轴可选用45、40Cr钢;

内燃机曲轴主要用优质中碳钢或中碳合金钢制造, 也可选用球墨铸铁制造。

● 本次课小结

3. 弹簧选材

汽车弹簧用65Mn、60Si2Mn钢制造；
气门弹簧用50CrMn、55SiMnMoV等钢制造。

4. 刀具选材

手动刀具可用T8、T10等碳素工具钢；
低速切削刀具用低合金刀具钢9SiCr、CrWMn
高速切削刀具用高速钢W18Cr4V、
W6Mo5Cr4V2，或硬质合金YG6、YT15制造。

增加作业：自我练习

零件	图片	工况及要求	钢材类型	牌号	热处理	组织
机床主轴		受弯曲、扭转，承受多种工作载荷； 性能要求： ➢ 综合机械性能好 ➢ 表面硬度高、耐磨				
滚动轴承内圈		交变应力作用，产生麻点或剥落； ➢ 高的接触疲劳强度 ➢ 高的硬度和耐磨性 ➢ 足够韧性和淬透性				
凸轮		接触表面受到强烈的摩擦、磨损，受冲击作用； ✓ 表面硬度高、耐磨 ✓ 心部具有高的韧性和足够高的强度				
板式弹簧		➢ 高的弹性极限 ➢ 高的疲劳强度 ➢ 足够的塑性和韧性，以免受冲击时脆断。				
手工锯条		切削时刃部与切屑之间强烈摩擦发热； ➢ 高硬度 ➢ 高耐磨性				

关于考试的重要提示

- 1、**考试时间：2023年5月16日（周二晚18：00-20：00；**
- 2、**考试形式：闭卷；**
- 3、**题型：判断（10分）、填空（20分）、选择题（10道，10分）、简答题（5道、20分）、综合题、分析计算等（40分）**
- 4、**一般难度较大，一定好好复习+理解；**
- 5、**不会放水；**

祝大家：

学业进步更上一层楼，
生活愉快更进一步！