

## 第3章 有色金属及非金属材料

金属通常可分为黑色金属和有色金属两大类。铁碳合金、Cr、Mn 属于黑色金属，除此以外的金属及合金称为有色金属。有色金属及其合金具有很多钢铁材料不具备的特殊性能，与黑色金属相比较，具有密度小、强度高的特点，在现代工业中是不可缺少的材料，在汽车中的应用也日益广泛，如发动机的活塞、轮辐、冷凝器管等。除金属以外的所有材料均为非金属材料，它们在汽车上的应用呈逐年增长趋势，如汽车轮胎、密封圈、汽车内饰等。

### 3.1 有色金属及合金

#### 3.1.1 铝及铝合金

铝及铝合金的密度小，属轻金属，在地球上的储量丰富，居金属元素之首。有关试验说明，若采用铝合金制造汽车的缸体和车身，整个汽车的自重可减轻 40%。目前轿车车身材料主要是金属薄钢板，一般厚度在 0.6~2.0mm。随着现代轿车技术的发展，轿车材料要求强度高而质量轻，采用铝合金是一条出路。但铝材的加工成本高，而且冲压及焊接技术要求比较特殊，以目前的技术还不是一般厂家可以做得到的。因此，大部分轿车的部分零部件采用铝合金，如车圈、发动机缸盖等。

##### 1. 工业纯铝

工业纯铝的纯度  $\omega_{Al}=99\% \sim 99.99\%$ ，呈银白色，具有密度小 ( $2.7\text{g/cm}^3$ )，熔点低 ( $660^\circ\text{C}$ )，导电性、导热性良好 (仅次于铜)，反光性好，无磁性，塑性高 ( $\delta=35\% \sim 40\%$ 、 $\psi=80\%$ )，强度低 ( $\sigma_b=80 \sim 100\text{MPa}$ )，硬度低 (25~30HBS) 等特点。

工业纯铝牌号有 1070A、1060、1050A、1035 等 (化学成分近似于旧牌号 L1、L2、L3、L4、L5)，编号越大，纯度越低。工业纯铝主要用途是代替铜制作导线，配制不同的铝合金，制作强度不高的器皿。在汽车上，纯铝主要用于制作空气压缩机垫圈、排气阀垫片、汽车铭牌等。

##### 2. 铝合金

纯铝强度很低，不适于制造机器零件。在纯铝中加入 Si、Cu、Mg、Zn、Mn 等合金元素形成铝合金，可使其力学性能提高，而且仍保持其密度小、耐腐蚀的优点。

根据铝合金的成分及生产工艺特点，将铝合金分为变形铝合金和铸造铝合金。

铝合金相图的一般类型如图 3.1 所示。成分位于 D 点以左的合金，当加热到固溶线以上时，可得到  $\alpha$  固溶体，其塑性很好，宜于压力加工，称为变形铝合金。而成分在 D 点以右的合金，由于共晶组织的存在宜于铸造，称为铸造铝合金。

变形铝合金又分为两类：成分位于 F 点以左的合金，其  $\alpha$  固溶体成分不随着温度改变而变化，故不能用热处理使之强化，称为不能用热处理强化铝合金。成分在 F 点以右的铝合金，其  $\alpha$  固溶体成分随着温度而发生变化，可用热处理强化，称为热处理可强化铝合金。

铸造铝合金也能用热处理强化。但是，合金成分距 D 点越远，合金中  $\alpha$  相越少，强化效果越不明显。

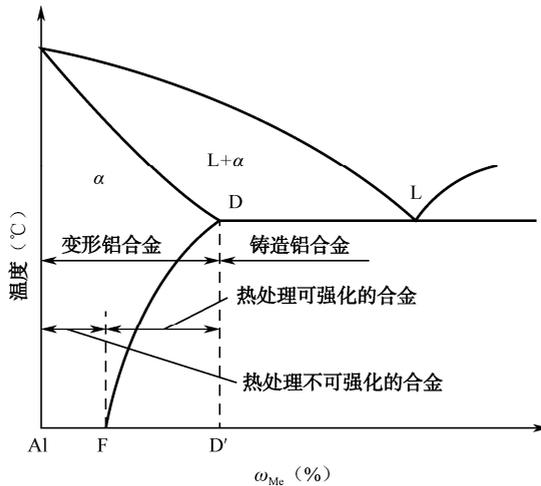


图 3.1 铝合金相图的一般类型

### 1) 变形铝合金

变形铝合金可由冶金厂加工成各种型材（板、带、管等）产品供应。按其主要性能特点分为防锈铝合金、硬铝合金、超硬铝合金和锻造铝合金。

变形铝合金牌号也用四位字符体系表示。牌号的一、三、四位数为数字，第二位为 A 字母。牌号中第一位数字是依主要合金元素 Cu、Mn、Si、Mg、Zn 的顺序来表示变形铝合金的组别。三、四位数表示同一组别中的不同铝合金。如 2A11 表示以 Cu 为主添加元素的变形铝合金，标识号为 11。

(1) 防锈铝合金。防锈铝合金是铝—锰系或铝—镁系合金，属于热处理不能强化铝合金。因具有良好的抗蚀性，故称为防锈铝合金。在常用的防锈铝合金中，铝—镁系铝合金其强度和耐蚀性高于铝—锰系防锈铝合金。

防锈铝合金的特点是强度适中，塑性和焊接性好，常用拉延法制造各种高耐蚀性薄板容器，受力小、质轻的耐蚀制品，如油箱、蒙皮、管道、窗框、灯具等。

(2) 硬铝合金。硬铝合金是铝—铜—镁系合金，比强度与高强度钢 ( $\sigma_b=1000\sim 1200\text{MPa}$ ) 相近，故名硬铝合金。其强度、耐热性随合金中 Cu、Mg 元素增加而提高，塑性下降。

硬铝是一种应用较广的铝合金。常轧制成板材、管材和型材，以制造在较高负荷下工作的铆接件、焊接件。但由于耐蚀性远比纯铝差，所以有些硬铝板材在表面上包一层纯铝后使用。

(3) 超硬铝合金。超硬铝合金是铝—铜—镁—锌系合金。这类铝合金强度最高，其比强度相当于超高强度钢 ( $\sigma_b>1400\text{MPa}$  的钢)，故名超硬铝合金。

超硬铝合金耐蚀性差，一般也要包铝以提高耐蚀性；另外耐热性也差，当温度高于  $120^\circ\text{C}$  时就会发生软化。主要用于制造重量轻、受力较大、工作温度低的结构件，如飞机大梁、桁架、起落架等。

(4) 锻造铝合金。锻造铝合金多数为铝—铜—镁—硅系合金。其力学性能与硬铝相近，但热塑性及耐蚀性较高，适用于锻造，故称为锻铝。主要用作各种形状复杂，比强度要求高，并可在高温下工作的锻件，如发动机风扇叶片、内燃机活塞、汽缸盖、压气机叶轮等。

各种变形铝合金的牌号、成分及性能如表 3.1 所示。

表 3.1 各种变形铝合金的牌号、成分及性能

组别	牌 号	化 学 成 分					直径及板厚 (mm)	力学性能		原代 号
		$\omega_{Cu}$	$\omega_{Mg}$	$\omega_{Mn}$	$\omega_{Zn}$	$\omega_{其他}$		$\sigma_b$ (MPa)	$\delta_{10}$	
防 锈 铝 合 金	5A50	0.10	4.8~5.5	0.30~0.6	0.20	Si 0.5、Fe 0.5	$\leq \phi 200$	265	15	LF5
	3A21	0.20		1.0~1.6		Si 0.6、Fe 0.7、 Ti 0.15	—	<167	20	LF21
硬 铝 合 金	2A01	2.2~3.0	0.2~0.5	0.20	0.10	Si 0.5、Fe 0.5、 Ti 0.15				LY1
	2A11	3.8~4.8	0.4~0.8	0.40~0.8	0.30	Si 0.7、Fe 0.7、 Ti 0.15	>2.5~40	235~ 373	12~ 15	LY11
	2A12	3.8~4.9	1.2~1.8	0.30~0.9	0.30	Si 0.5、Fe 0.5、 Ti 0.15	>2.5~40	216~ 456	14 ~8	LY12
超 硬 铝 合 金	7A04	1.4~2.0	1.8~2.8	0.20~0.6	5.0~ 7.0	Si 0.5、Fe 0.5、 Cr 0.10~0.25、 Ti 0.10	0.5~4.0	245	10	LC4
							>2.5~4.0	490	7	
							$\phi 20 \sim 100$	549	6	
锻 铝 合 金	6A02	0.2~0.6	0.45~0.9	Cr 0.15~ 0.35		Si 0.5~1.2、 Ti 0.15、Fe 0.5	$\phi 20 \sim 150$	304	8	LD2
	2A50	1.8~2.6	0.4~0.8	0.40~0.8	0.30	Si 0.7~1.2、 Ti 0.15、Fe 0.7	$\phi 20 \sim 150$	382	10	LD5

## 2) 铸造铝合金

铸造铝合金与变形铝合金相比其力学性能较差，但铸造性能好，可进行各种铸造，以制形状复杂的零件。铸造铝合金主要有铝—硅系、铝—铜系、铝—镁系和铝—锌系。其中铝—硅系应用最为广泛。

铸造铝合金的代号用“ZL”加三位数字表示，其中“ZL”表示“铸铝”，第一位数字表示合金类别，1为铝—硅系、2为铝—铜系，3为铝—镁系，4为铝—锌系；第二、三数字表示合金顺序号，序号不同化学成分不同。如ZL102代表顺序号为2的铝—硅系铸造合金。铸造铝合金的牌号用“Z+Al+主要合金元素化学符号以及其含量质量分数”表示，若为优质在后面加符号“A”。

(1) 铝—硅系合金。铝硅系铸造合金是目前工程上应用最广泛的铸造合金，统称硅铝明，根据合金元素的种类和组元数目的不同，可分为简单硅铝明（铝—硅二元合金）和特殊硅铝明（铝—硅—镁系、铝—硅—铜—镁系等）。

简单铝硅合金不能用热处理方法强化，仅可以用变质处理来提高其强度，所以常用于浇铸或压铸重量轻、有一定强度和复杂形状的中小型零件，尤其薄壁零件，如仪器仪表零件、活塞、发动机机壳、汽缸体及工作温度在200℃以下、要求气密性好的承载零件。

复杂铝硅合金的强度比简单铝硅合金高，且可通过热处理进一步提高其力学性能。一般

用作形状复杂、强度要求高，并可在高温下工作的机器零件，如内燃机汽缸体、汽缸盖、活塞等。

(2) 铝—铜系合金。铝铜系铸造合金的特点是加入镍、锰后耐热性大大提高、具有较高的高温强度，能通过热处理来强化。最大缺点是耐蚀性差，随含铜量增加耐蚀性降低。常用于制造高强度或高温条件下工作的零件，如高速内燃机活塞、缸体和缸盖等。

(3) 铝—镁系合金。铝镁系铸造合金的特点是密度小、强度高、耐蚀性较好，能耐大气和海水腐蚀。但铸造性能较差，铸件组织疏松，热强性也差，一般仅适用于 200℃ 以下工作的零件。因此，常用来制造耐腐蚀的铸件，如海轮配件、氨用泵体、泵盖等。在一定场合可以替代不锈钢。

(4) 铝—锌系合金。由于能溶入大量的锌（极限溶解度为 32%），所以合金的强度显著提高，而且价格比较便宜。在合金中加入适量的锰、铁和镁，可以提高耐热性。缺点是耐蚀性能较差。主要用于制造结构形状复杂的汽车、飞机零件和医疗器械、仪表零件、日常用品等。

部分铸造铝合金的代号、牌号、热处理、力学性能和用途如表 3.2 所示。

表 3.2 部分铸造铝合金的代号、牌号、力学性能和用途

类别	代号	牌号	力学性能			应用举例
			$\sigma_b$ (MPa)	$\delta$ (%)	HBS	
铝硅合金	ZL101	ZAlSi7Mg	202	2	60	形状复杂的零件，如飞机仪器零件、抽水机壳体等
铝铜合金	ZL203	ZAlCu4	212	3	70	中等载荷、形状较简单的零件，如托架和工作温度不超过 200℃ 并要求切削加工性能好的小零件
铝镁合金	ZL301	ZAlMg10	280	9	60	在大气或海水中工作的零件，承受大振动载荷、工作温度不超过 150℃ 的零件，如氨用泵体、船舶配件等
铝锌合金	ZL401	ZAlZn11Si7	241	2	80	结构形状复杂的汽车、飞机仪器零件，工作温度不超过 200℃，也可制作日用品

### 3.1.2 铜及铜合金

铜是人类发现和使用最早的金属。铜有优良的导电导热性，良好的化学稳定性，铜的塑性变形能力很高，可采用挤压、压延和拉拔等压力加工方法制成各种型材，工业上得到广泛应用，特别是作导电器材，其用量占铜总用量的一半以上。在汽车工业所用有色金属材料中，铜合金用量仅次于铝合金。汽车上各类热交换器、散热器、耐磨减摩零件、电器元件、油管等，均选用了铜合金材料。

#### 1. 工业纯铜

纯铜是用电解法获得的，也称为“电解铜”，外观呈紫红色，故又称为紫铜。工业纯铜含铜量  $\alpha_{Cu}=99.5\% \sim 99.95\%$ 。纯铜具有良好的塑性、导电性和耐蚀性，特别是导电性仅次于银而位居第二。其密度为  $8.9\text{g/cm}^3$ ，熔点为  $1083^\circ\text{C}$ ，固态下为面心立方晶格，无同素异构转变。工业纯铜的强度、硬度低（ $\sigma_b=230 \sim 240\text{MPa}$ ， $40 \sim 50\text{HBS}$ ），不宜制作结构零件，广泛用于制造电线、电缆、铜管以及配制铜合金。

我国工业纯铜常用的有 T1、T2、T3、T4 四种。代号中数字越大，表示杂质含量越高，导电性、塑性越差。如 T1、T2，主要用作导电材料或配制高纯度的铜合金；T3、T4，主要用于一般铜材和配制普通铜合金。

## 2. 常用铜合金

按化学成分，铜合金可分为黄铜、青铜和白铜三类。

### 1) 黄铜

黄铜是以锌为主要添加元素的铜合金，具有良好的力学性能，易于加工成形，并且对大气、海水、淡水、蒸汽有相当高的抗蚀能力。黄铜在轿车上用作转向节衬套、钢板弹簧衬套和轴套等耐磨件，也可用作散热器冷凝器、冷却管，还可用作装饰件、供水排水管、油管接头、制动三通接头、垫片和垫圈。

黄铜按其成分不同分为普通黄铜和特殊黄铜。

(1) 普通黄铜。普通黄铜是铜锌二元合金。其牌号用“H”+数字表示，数字表示铜含量的质量分数。当锌含量质量分数小于 39%时，具有良好的塑性、导热性和耐热性。常用来制造形状复杂并要求耐热、耐腐蚀的零件。如汽车散热器、垫片、油管、螺钉等。常用有 H80、H70、H68、H62 等。其中 H80 呈金黄色，又称为金色黄铜。

(2) 特殊黄铜。特殊黄铜是在普通黄铜的基础上再加入 Si、Sn、Al、Pb、Mn 等合金元素，形成多元合金。通常根据加入的元素名称分别称为硅黄铜、锡黄铜、铝黄铜等。由于加入合金元素，其力学性能得到改善。

按其工艺方法不同分为压力加工黄铜和铸造黄铜。

(1) 压力加工黄铜。压力加工黄铜牌号用 H+主添加元素符号+铜的质量分数+主添加元素的质量分数表示。如 HPb59-1 表示含 Cu 约为 59%，含 Pb 约为 1%，其余为 Zn 的压力加工黄铜。压力加工黄铜加入合金元素量少，具有良好塑性和变形能力，常用来制作各种结构零件。

(2) 铸造黄铜。铸造黄铜牌号用 Z+Cu+Zn 及其含量+其他元素符号及其含量表示。如 ZCuZn16Si4 表示铸造硅黄铜， $\omega_{Zn}=16\%$ 、 $\omega_{Si}=4\%$ ，其余量为铜。铸造黄铜不要求有很高的塑性，所以通过加入较多的合金元素来提高其强度和铸造性能。

### 2) 青铜

青铜是指除黄铜和白铜以外的其他铜合金。

青铜按加工方法不同可分为压力加工青铜和铸造青铜。压力加工青铜牌号用“Q”+主添加合金元素符号+数字（依次表示所添加元素的质量分数）。例如，QSn6.5-0.4，表示压力加工锡青铜，其含锡量为 6.5%，其他合金元素(P)含量为 0.4%。铸造青铜的牌号表示方法为：Z+Cu+主添加合金元素符号及质量分数+其他元素及其质量分数。如 ZCuAl10Fe3 表示含铝量为 10%，含铁量为 3%的铸造铝青铜。

青铜按主加合金元素又可分为锡青铜和特殊青铜。

(1) 锡青铜。锡青铜是铜锡合金，呈青黑色，具有良好的强度、硬度、耐磨性、耐腐蚀性。工业用锡青铜的含锡量在 3%~14%之间。含锡量 $\omega_{Sn}<8\%$ 的锡青铜称为压力加工锡青铜，可用于压力加工。常制成板材、带材等半成品供货。适用于制造仪器上要求耐腐蚀及耐磨零件、弹性零件、抗磁零件及机器中的轴承、轴套等。含锡量 $\omega_{Sn}>10\%$ 的锡青铜塑性差，称为铸造锡青铜只能用于铸造。这类合金铸造收缩率小，但铸造流动性差。具有良好的耐磨性，抗磁性和低温韧性，多用来制造耐磨零件（如齿轮、蜗轮、轴承、轴套等）和在酸、碱蒸气中

工作的零件。但不适用作致密度和密封性要求高的零件。

(2) 特殊青铜。无锡青铜是指不含锡的青铜。常见的无锡青铜有铝青铜、锰青铜、硅青铜、铍青铜和铅青铜。大多数无锡青铜比锡青铜具有更高的力学性能、耐腐蚀性、耐磨性和耐热性，是锡青铜的良好代用品，如锰青铜可做弹簧，铅青铜可做轴套、齿轮、涡轮，铝青铜可做轴承、曲轴止推垫圈。

### 3) 白铜

以镍为主要添加元素的铜合金称为白铜。仅由铜、镍组成二元合金称为普通白铜，含有锰的铜镍合金称为锰白铜。

根据含锰量不同工业上将锰白铜分为锰铜、康铜和考铜。锰白铜具有极高的电阻率，非常小的温度系数，是制造电工仪器、变阻器、热电偶合器等的良好材料。

## 3.1.3 滑动轴承合金

用来制造滑动轴承轴瓦或内衬的合金称为滑动轴承合金。

因滑动轴承传动效率不如滚动轴承，目前机器中滚动轴承的应用范围很广。但是滑动轴承承压面积大、噪声小、工作平稳，故常用于高速重载的场合，如汽车发动机的连杆轴承和曲轴轴承等。

常用的轴承合金有锡基轴承合金、铅基轴承合金、铜基轴承合金和铝基轴承合金等。

### 1. 锡基轴承合金和铅基轴承合金（巴氏合金）

锡基和铅基轴承合金牌号表示方法为 Z+基本元素符号+主加元素符号及质量分数+辅加元素符号及质量分数。如 ZPbSb15Sn5 为铸造铅基轴承合金，主加元素锑质量分数为 15%，辅加元素锡质量分数为 5%，余量为铅。

(1) 锡基轴承合金（锡基巴氏合金）。锡基轴承合金是以锡为基体元素，加入 Sb、Cu 等元素组成的合金。这类合金摩擦系数小，塑性和导热性好，并具有良好的耐腐蚀能力。常用作重要轴承，如汽轮机、内燃机、压气机等机器的高速轴承。但抗疲劳强度差，且锡是稀有金属，故这种轴承价格昂贵。

(2) 铅基轴承合金（铅基巴氏合金）。铅基轴承合金是铅—锑为基体，加入 Sn、Cu 元素组成的合金。这类合金的强度、塑性、韧性、导热性及耐蚀性均较锡基轴承合金差，且摩擦系数较大，但价格较便宜。因此，铅基轴承合金常用来制造承受中、低载荷的中速轴承。

无论是锡基轴承合金还是铅基轴承合金，它的强度都比较低，不能承受大的压力，故常用离心浇注法将其镶铸在钢制的轴瓦上（08 钢），形成一层薄而均匀的内衬（<0.1mm）。

### 2. 铝基轴承合金

铝基轴承合金的基本元素是铝，主添加元素有锑和锡。铝基轴承合金资源丰富，价格低廉，抗疲劳性好，导热性优良。但线膨胀系数大、抗咬合性比巴氏合金差。又因本身强度较高，使轴易磨损，故应提高轴的硬度。汽车上应用较多的是高锡铝基轴承合金。

### 3. 铜基轴承合金

铜基轴承合金主要有锡青铜和铅青铜。常用的锡青铜有 ZCuSn10Pb1 和 ZCuSn5Pb5Zn5 等。铸态组织中存在着较多的分散缩孔，有利于储存润滑油，这种合金能承受较大的载荷，广泛用于中速重载轴承，如电动机、泵、金属切屑机床及汽车转向轴承等。锡青铜轴承合金可直接制成轴瓦。

各种轴承合金性能比较如表 3.3 所示。

表 3.3 各种轴承合金性能比较

种类	抗咬合金	磨合性	耐蚀性	耐疲劳性	合金硬度 HBS	最大允许压力 /MPa	最高允许温 度/℃
锡基轴承合金	优	优	优	劣	20~30	600~1000	150
铅基轴承合金	优	优	中	劣	15~30	600~800	150
锡青铜		劣	优	优	50~100	700~2000	200
铅青铜	中	差	差	良	40~80	2000~3200	220~250
铝基合金	劣	中	优	良	45~50	2000~2800	100~150
铸铁	差	劣	优	优	160~180	300~600	150

### 3.1.4 其他有色金属

有色金属在汽车上的应用也日益增多，钛、镁、锌等合金的应用也越来越受到重视。

#### 1. 钛及钛合金

具有优越的综合性能：比强度高，耐热性好，特别适用于在 300~600℃ 温度范围内工作的航空、航天等要求比强度高的器件；优良的耐蚀性，在硫酸、盐酸、硝酸、氢氧化钠及海水中均有优良的稳定性；良好的低温韧性。同时钛的资源丰富，所以有着广泛应用前景。目前，由于钛及钛合金的加工条件复杂，成本较昂贵，在很大程度上限制了它们的应用。钛在固态下具有同素异构转变，转变温度因纯度的不同而异。

##### 1) 工业纯钛

钛呈银白色，熔点高（1725℃），密度小（4.5g/cm<sup>3</sup>），导热性差。工业纯钛的力学性能与其纯度有很大关系，若存在氧、氮、氢、碳等元素则其强度显著增加，塑性下降。按纯度分为 4 个等级：TA0、TA1、TA2、TA3。其中“T”为钛的汉语拼音字首，后面的数字表示纯度，数字越大纯度越低。工业纯钛常用于制造 350℃ 以下工作的低载荷零件，如飞机骨架、发动机部件、耐海水管道及柴油机活塞、连杆等。

##### 2) 钛合金

钛合金按其组织类型不同，可分为 $\alpha$ 型、 $\beta$ 型和 $\alpha+\beta$ 型钛合金，其牌号分别为 TA、TB、TC 加上序号来表示。

$\alpha$ 型钛合金（TA）的组织为单相 $\alpha$ 固溶体，它的主要合金元素是铝，具有很好的强度、韧性、热稳定性、焊接性和铸造性，抗氧化能力较好，塑性较低，热强性很好，可以在 500℃ 左右长期工作。可用来制造飞机涡轮机壳等。

$\beta$ 型钛合金（TB）的组织为 $\beta$ 固溶体，它的合金元素主要为铬、钼、锰、钒、铝等。这种合金强度较高、韧性好，易于进行冲压成形，经淬火和时效处理后析出弥散的 $\alpha$ 相，强度进一步提高，主要用于制造高强度板材和复杂形状零件。

$\alpha+\beta$ 型钛合金（TC）的组织由 $\alpha$ 固溶体和 $\beta$ 固溶体两相构成，主要添加铝，也加入锰、铬、钒等，因而它兼有上述两类合金的优点，即塑性好、热强性好（可 400℃ 在长期工作）、抗海水腐蚀能力很强，生产工艺简单，并可通过淬火和时效处理进行强化。主要应用于飞机压气机盘和叶片、舰艇耐压壳体、大尺寸锻件、模锻件等。

钛合金还具有良好的低温工作性能。例如，TC4（Ti-6Al-4V）在-196℃ 以下仍然具有良好的韧性，用于制造低温高压容器，如火箭及导弹的液氢燃料箱等。钛合金应用于高、低温工作条件下结构材料，其发展前景非常广阔。

## 2. 镁及镁合金

镁的密度很小( $1.74\text{g/cm}^3$ ), 耐腐蚀性很差, 强度和塑性均不高, 一般不直接用作结构材料。和铝合金类似, 在镁中加入 Al、Zn、Mn 等合金元素并利用固溶和时效强化后, 其合金的强度可达  $300\sim 350\text{MPa}$ , 并且, 镁合金比强度与铝合金相比更高, 能承受较大的冲击载荷和具有更高疲劳极限; 耐腐蚀性好(特别耐煤油、汽油等矿物油和碱类的腐蚀), 有良好的切削加工性。因此在航空、无线电通信、仪表等行业获得广泛的应用。特别是近年来手机和笔记本电脑的逐渐普及, 使镁合金的应用前景更为广阔。同时, 镁合金是最有发展前景的汽车轻量化材料之一, 用镁合金替代铝合金制造汽车零部件以减轻汽车自重, 在当前世界汽车生产中逐步得以应用。用镁合金制造操纵杆托架、离合器壳和变速器壳等。

美国及欧洲车采用镁的零件有离合器壳、制动器、离合器踏板支架、内饰罩板、分电器膜片箱、转向柱锁壳、摇臂罩、空滤器壳、格栅、变速手柄、变速器壳、发电机托架、储油槽、储油槽底板、车轮、节气连杆、手制动连杆等。英国的杰戈娃(Jaguar) 4.0L6 缸机使用了新型镁合金凸轮轴盖, 与铝相比, 可降低质量和噪声。

镁合金根据加工方法分为变形镁合金(压力加工镁合金)和铸造镁合金两类。代号分别以“MB”和“ZM”加序号表示, 例如 MB2 称为二号镁合金, ZM6 称为六号铸造镁合金等。

常用的变形镁合金有 MB1、MB2、MB8、MB15。其中应用较多的是 MB15, 它具有较高强度和良好的塑性, 且热处理工艺简单, 热加工后直接进行时效便可强化。常用铸造镁合金有 ZM1、ZM2、ZM5, 它们具有较高的常温强度和良好的铸造工艺性, 但耐热性较差, 工作温度不超过  $150^\circ\text{C}$ 。

## 3.2 非金属材料

金属材料虽具有力学性能高, 热稳定好, 导电、导热性好等优点, 但也存在着密度大、耐腐蚀性差、电绝缘性差等缺点, 因而无法满足生产的需要。非金属有许多金属材料不具备的特点, 因此已成为现代工业中必不可少的材料, 在汽车中的应用逐年提高。

非金属材料是指除金属材料以外的其他材料, 其种类繁多, 本章主要介绍有机高分子材料、陶瓷材料、复合材料。

### 3.2.1 高分子材料

高分子材料是相对分子量在 5000 以上的有机化合物的总称。高分子化合物分子量很大, 如橡胶为 10 万, 聚乙烯在几万到几百万。虽然其结构复杂多变, 但一般是由一种或几种简单的低分子(也称单体)重复连接而成。例如, 聚乙烯是由低分子乙烯( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ )聚合而成的; 聚氯乙烯是由低分子氯乙烯( $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ )连接组成的。低分子化合物聚合起来形成高分子化合物的过程称为聚合反应, 所以高分子化合物又称为聚合物或高聚物。

高分子化合物分为天然和人工合成两大类。天然高分子化合物主要有羊毛、蚕丝、纤维素、天然橡胶、淀粉、蛋白质等。工程上应用的高分子化合物主要是人工合成的各种有机物。

在汽车中高分子材料的应用十分广泛。据统计现代轿车中高分子材料用量占自重的  $12\%\sim 16\%$ 。高分子材料的缺点是强度、刚度不够大, 易老化, 一般不适于做承重量大的结构件。

高分子材料按热性能及成型特点分为热固性和热塑性; 按用途分为塑料、合成橡胶、胶

粘剂等。这里主要介绍汽车中常用的高分子材料如塑料、橡胶。

### 1. 塑料

塑料是应用最广泛的高分子材料。塑料的密度小，价格低。采用塑料代替部分钢铁件，既可减轻车辆自重又可降低成本。例如，近年来用高密度聚乙烯制造轿车汽油箱，可使油箱减重 30% 之多。而轿车内部构件已采用塑料来制造。

#### 1) 塑料的组成

大多数塑料是以合成树脂为基础，再加入一些用来改善使用性能和工艺性能的添加剂而制成。合成树脂是主要组成物，它决定塑料性能，含量一般为 30%~100%（不含添加剂的塑料称为单组分塑料，其余称为多组分塑料）。因此，大多数塑料都是以树脂名称来命名的。例如，聚氯乙烯塑料的树脂就是聚氯乙烯。

填充剂的作用是调整塑料的物理化学性能，提高材料强度，扩大使用范围以及减少合成树脂的用量，降低塑料成本。常见填充剂的作用是：增塑剂可增加塑料制品的可塑性和柔韧性；稳定剂的作用是防止成型过程中高聚物受热分解和长期使用过程中塑料老化；润滑剂是为了防止在成型过程中产生黏模，并增加成型时的流动性，保证制品表面光洁；固化剂在塑料加工过程中可使树脂硬化，从而达到使用要求；着色剂使塑料呈现五颜六色的缤纷色彩。此外，加入不同的填充剂，可以制成不同性能的塑料：如加入铝粉可提高塑料的光反射能力及防止老化；加入银、铜等金属粉末，可制成导电塑料；加入石棉，可改善塑料的耐热性。

#### 2) 塑料的分类

(1) 按树脂的热性能可分为热塑性塑料和热固性塑料两大类。

热塑性塑料通常为线型结构，能溶于有机溶剂，加热可软化，故易于加工成型；冷却后变硬，当再次受热时又软化并能反复使用。常用的有聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、尼龙、ABS 等。

热固性塑料通常为网型结构，固化后重复加热不再软化和熔融，亦不溶于有机溶剂，不能再成型使用。常用的有酚醛塑料、环氧树脂等。

(2) 按使用范围可分为通用塑料和工程塑料两大类。

通用塑料是一种非结构材料。它的产量大，价格低，性能一般，可作为日用品、农用及包装材料。目前主要有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、酚醛塑料和氨基塑料。

工程塑料一般力学性能较好，且耐高温、耐辐射、耐腐蚀，电绝缘性能好，因而有时可代替金属在汽车、机械、化工等部门用来制造机械零件及工程结构。主要有聚酰胺（尼龙）、聚碳酸酯、ABS、聚甲醇等。在实际使用中，通用塑料和工程塑料并没有严格的界限。

#### 3) 塑料的特点

(1) 质量轻、强度低、刚度低：塑料的密度一般为  $0.9\sim 2.0\text{g/cm}^3$  仅为钢的  $\frac{1}{4}\sim\frac{1}{7}$ ，强度一般为  $\sigma_b=30\sim 150\text{MPa}$ ，刚度仅为金属的  $\frac{1}{10}$ ，所以塑料只能制作承载不大的零件。但由于密度小，所以塑料的比强度、比模量还是很高的。

(2) 热导率较小：一般为金属的  $\frac{1}{500}\sim\frac{1}{600}$ ，所以具有良好的绝热性，但易摩擦发热。

(3) 热膨胀系数大：是钢的 3~10 倍，所以塑料零件的尺寸精度不够稳定。

(4) 耐热性差，易老化：大多数只能在  $<100^\circ\text{C}$  使用，只有高温塑料可在  $200^\circ\text{C}$  左右使用。

(5) 绝缘性好：因此塑料广泛用于电器、电力工程中。

(6) 耐蚀性好：化学稳定性很高，耐酸、碱、油、水及大气等物质的侵蚀，特别适合于制作化工机械零件及在腐蚀介质中工作的零件。

(7) 减摩性能、耐磨性能差异大：大部分塑料的减摩、耐磨性较金属差，但也有些塑料如聚氟乙烯、尼龙等塑料，摩擦系数很小，约为 0.04，而且具有良好的自润性，所以是极好的轴承材料和耐磨材料。因而，大量用来制造密封件、齿轮、轴承等零件。

此外，塑料还具有吸振性能高，易于加工成型等优点。

#### 4) 汽车常用塑料

汽车塑料制品根据其应用部位，可分为内装件、外装件、功能件。目前世界各国的汽车内饰件已基本塑料化，今后主要是发展车身覆盖件、外装件及功能件。

常用工程塑料种类很多，表 3.4 列举部分汽车常用塑料的名称、符号及用途。

表 3.4 汽车常用塑料的名称、符号及用途

名 称	符 号	用 途 举 例
聚乙烯	PE	车厢内饰件、油箱、挡泥板、转向盘、发动机罩、空气导管
聚氯乙烯	PVC	方向盘、坐垫套、车门内板、仪表板、操纵杆盖板等。占车用塑料的 20%~30%
聚丙烯	PP	接线板、转向盘、保险杠、风扇罩、散热器栅格、灯罩、电线覆皮
聚氨酯树脂	PU	为主要内饰材料，如仪表板、方向盘、车门扶手、遮阳板、密封条、头枕
ABS 树脂	ABS	仪表盘、控制箱、灯壳、挡泥板、变速杆、散热器护栅
有机玻璃	PMMA	灯罩、油杯、镜片、遮阳板、标牌、油标
聚酰胺（尼龙）	PA	冷却风扇、滤网、把手、钢板弹簧衬套、散热器副油箱
聚甲醛	POM	各种阀门、转向器衬套、万向节轴承、各种手柄及门销
酚醛塑料	PF	制动衬片、离合器摩擦片、分电器盖
聚碳酸酯	PC	保险杠、刻度板、壳体、水泵叶轮

## 2. 橡胶

橡胶是一种具有极高弹性的高分子材料，其弹性变形量可达 100%~1000%，而且回弹性好。同时，橡胶还有一定的耐磨、吸振、绝缘、隔音特性。它是常用的弹性、密封、减振防振和传动材料。橡胶的主要缺点是易老化，耐油性差。

### 1) 橡胶的组成

橡胶是在生胶的基础上加入适量配制剂制成的高分子材料。按其生胶的来源又分为天然橡胶与合成橡胶。天然橡胶是将橡胶树流出的胶乳，经过凝固、干燥、加压等工序制成的片状固体物。主要成分为异戊二烯。合成生胶是以石油、天然气、煤等为原料、通过化学合成方法制成的与天然橡胶性能相似的高分子材料。合成橡胶的品种很多，如丁苯橡胶、氯丁橡胶、丁腈橡胶、硅橡胶等。橡胶的性能主要取决于生胶的性质。

配合剂是为了提高和改善橡胶的性能。常用配合剂有硫化剂、促进剂、防老化剂、填充剂、发泡剂和着色剂等。

天然橡胶常以硫磺为硫化剂，硫化剂的作用是改善橡胶分子结构，提高橡胶的力学性能，克服因温度升高而变软、发黏的缺点。因此，橡胶制品只有硫化后才可使用。

填充剂的作用是增加橡胶的强度并降低生产成本，常用填充剂有石墨、氧化镁、滑石粉等。

## 2) 常用橡胶

根据橡胶的应用范围，橡胶可分为通用橡胶和特种橡胶。汽车常用橡胶的种类、代号、性能及用途如表 3.5 所示。

表 3.5 汽车常用橡胶的种类、代号、性能及用途

类别	品种、代号	性能	用途
通用橡胶	天然 (NR)	耐磨性好	轮胎, 胶带, 胶管
	丁苯 (SBR)	耐磨、耐油、耐老化、耐热	轮胎, 通用制品, 胶板, 胶布
	顺丁 (BR)	弹性、耐磨性、耐寒性好	电线包皮, 减振器, 内胎, 橡胶弹簧
	氯丁 (CR)	物理机械性能好、	胶管, 胶带, 汽车门窗嵌条, 密封件
	异戊 (IR)	绝缘性好、吸水性低	胶管, 胶带
	丁基 (JIR)	气密性好、耐酸碱、吸振	内胎, 防振件, 防水胎
特种橡胶	聚氨酯 (UR)	耐磨、耐油性好, 强度高	耐油胶管、垫圈, 实心轮胎, 耐磨制品
	硅橡胶 (Q)	绝缘、耐高温、低温 (-100~300℃)	耐高温、低温件, 绝缘件
	氟橡胶 (FPM)	耐高温、耐蚀、耐辐射、高真空性	耐蚀件, 高真空件, 高密封件
	丙烯酸酯 (ACM)	耐油、耐老化	油封, 皮碗, 火花塞护套

## 3. 黏胶剂

工程上常借助一种材料在固体表面产生黏合力，将材料牢固地连接在一起的方法称为胶结，所用的材料称为胶黏剂（又称黏合剂）。胶接的特点是：接头处应力分布均匀，接头的密封性、绝缘性及耐蚀性好，适用性强，而且操作简单、成本低。因而，在工业中得到广泛使用。

### 1) 胶黏剂的组成

胶黏剂也是一种高分子材料，分为天然和合成两大类。天然胶黏剂是用动、植物胶液制成的，黏合能力、耐水性均差。目前工业上使用的胶黏剂多是合成胶黏剂。

合成胶黏剂是由基料（环氧树脂、酚醛树脂、氯橡胶）、固化剂、增塑剂、增韧剂、填料、稀释剂、稳定剂等组成的。

### 2) 常用的胶黏剂

胶黏剂的种类繁多，组成各异，常按基料的化学成分来区分。表 3.6 列出了部分常用胶黏剂的种类、牌号、性能和用途。选择胶黏剂时，应根据被粘接材料、受力条件及工作环境等具体情况来合理确定。

汽车修理中常用的胶黏剂有环氧树脂和酚醛树脂胶黏剂，用来粘接离合器摩擦片、修补缸体、蓄电池等。

表 3.6 常用胶黏剂种类、牌号、性能及用途

类别	牌 号	主要特性	用途
环氧胶黏剂	E-7	耐热性好, 密封性好; 使用温度 150℃, 固化条件: 100℃, 3 小时	可胶结金属、玻璃等多种材料
	J-19A	胶结强度和韧性很高, 但耐水性差。使用温度 -60~120℃。固化条件: 180℃、3 小时	可胶结金属、玻璃、木材、陶瓷等材料
	914	固化迅速, 使用方便, 耐油, 耐水, 胶结力强; 耐热性和韧性差。固化条件: 室温下 3 小时	适用于各种材料的快速黏结、固定和修补

续表

类别	牌 号	主要特性	用 途
酚醛胶黏剂	J-03	胶接强度高、弹性、韧性好、耐疲劳。使用温度： $-60\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，固化条件： $165^{\circ}\text{C}$ 、3小时	可胶结金属、玻璃钢、陶瓷等，特别适用于金属蜂窝状夹层结构的胶结
	JSF-2	粘接强度高，韧性好，耐疲劳，良好的抗老化性。使用温度： $-60\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。固化条件： $150^{\circ}\text{C}$ ，1小时	可胶结金属、塑料、玻璃、木材、皮革等
聚氨酯胶黏剂	JQ-1	胶膜柔软、耐油，但对水分特别敏感。使用温度低。固化条件： $140^{\circ}\text{C}$ ，1小时	适用于未硫化的天然橡胶、丁腈橡胶等与金属的胶结
	101	胶膜柔软，绝缘性好，耐磨、油性好，良好的超低温性，耐热性差，使用温度低	可胶结金属、塑料、陶瓷、橡胶、皮革、木材等多种材料
瞬干胶	502	使用面广。胶膜较脆。耐热性、耐溶剂性差、使用温度： $-40\sim 70^{\circ}\text{C}$	可胶结金属、陶瓷、塑料、橡胶等材料的小面积胶结和固化
厌氧胶	Y150	工艺性好，毒性小，固化后的抗蚀性、耐热性、耐寒性好。使用温度： $-40\sim 150^{\circ}\text{C}$ 。胶液填入结合面空隙，隔绝空气后1~3天即可固化，加入固化剂1小时即可固化	用于防止螺钉松动、轴承的固定、法兰及螺纹接头的密封和防漏，堵塞缝隙，也可用于胶接
无机胶黏剂		优良的耐热性，可长期在 $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 下使用，胶结强度高，低温性能好（ $-168^{\circ}\text{C}$ 时强度无变化），耐水、耐油性好。但耐酸、碱性差，不耐冲击	用于各种刀具和工具的胶接、汽缸盖裂纹的胶补等

### 3.2.2 陶瓷材料

陶瓷原指硅酸盐材料，目前，陶瓷的概念广义化了，为所有无机非金属材料的简称，主要指陶瓷、玻璃，还包括搪瓷、石膏、水泥、石英等。金属、工程塑料和陶瓷是现代工业三大支柱材料。

陶瓷的共同特征是：耐热性优良；除绝缘性、半导体性之外，还具有磁性、介电性等多种功能；不易变形，断裂时属于脆性破坏；韧性低。

#### 1. 陶瓷

##### 1) 陶瓷分类

陶瓷大致分为传统陶瓷和特种陶瓷两大类。

(1) 传统陶瓷又称为普通陶瓷，主要以天然的硅酸盐矿物质（黏土、长石、石英等）为原料，经原料粉碎、成型、烧制后而成。按用途可将陶瓷分为日用陶瓷、建筑陶瓷、卫生陶瓷、电器陶瓷、化工陶瓷和多孔陶瓷。广泛用于人们的日常生活、建筑、卫生、电力、化工领域，如餐具、卫生洁具、电绝缘器材料、装饰材料等。

(2) 特种陶瓷又称为新型陶瓷，以化工原料（氧化物、氮化物、碳化物等）经配料、成型、烧结而成。按其用途可分为电容陶瓷、压电陶瓷、磁性陶瓷、电光陶瓷、高温陶瓷等。

##### 2) 陶瓷的性能及应用

陶瓷材料种类繁多，其性能差异很大。特种陶瓷除了具有普通陶瓷的共性以外，还具有特殊的物理、化学性能。

###### (1) 陶瓷的物理性能。

陶瓷的熔点很高：一般在 $2000^{\circ}\text{C}$ 左右，并且具有优良的稳定性，已经被广泛用作耐高温材料，如耐火泥、耐火砖、耐热涂层等。

导热性和膨胀性：陶瓷的导热率和膨胀率都小于金属材料，因此常作为常温绝热材料。多孔和泡沫陶瓷可用作 $-120\sim-240^{\circ}\text{C}$ 的低温隔热材料。

电学性能好：大多数陶瓷都是良好的电绝缘材料，在低温下具有很高的电阻率，因而大量用来制造隔电的瓷质绝缘器件。尤其是在高温、高电压工作条件下，陶瓷是唯一的绝缘材料，如汽油机的火花塞绝缘体。但也有不少特种陶瓷具有特殊的电学性能，如铁电陶瓷( $\text{BaTiO}_3$ )具有较高电介常数和压电效应； $\text{VO}_2$ 、 $\text{BaO}$ 等具有半导体性能等。这类陶瓷被用于超声检测仪器、声呐、电子仪器中。

### (2) 陶瓷的化学性能。

陶瓷的组织结构非常稳定，具有极好的抗氧化性（在 $1000^{\circ}\text{C}$ 也不会被氧化）和耐腐蚀性（耐酸、碱、盐），不发生老化。

### (3) 陶瓷的力学性能。

陶瓷材料具有很高的弹性模量和硬度( $>1500\text{HV}$ )，极高的热硬性（可达 $1000^{\circ}\text{C}$ 以上），抗压强度高，但是，大多数陶瓷的抗拉强度和韧性都很低，脆性大。近些年来随着科技的发展，有些特种陶瓷的强韧性基本接近于钢，如二氧化锆( $\text{ZrO}_2$ )增韧陶瓷。

### 3) 几种常用的特种陶瓷

特种陶瓷除用作高温材料以外，还用作刀具、模具、高速轴承、阀门、高温零件及高温零件的涂层等。特种陶瓷还正在试制内燃机零件，如缸体、缸盖、凸轮、连杆等。特种陶瓷按化学成分分为氧化物陶瓷和非氧化物陶瓷两类。

(1) 氧化物陶瓷。氧化物陶瓷按其组成为单一氧化物陶瓷和复合氧化物陶瓷，工程上应用较多的是单一氧化物陶瓷，其中氧化铝( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )陶瓷是应用最广泛的单一氧化物陶瓷（又称为刚玉）。其硬度高（ $1500^{\circ}\text{C}$ 时为 $80\text{HRA}$ ），仅次于金刚石等材料而居第五位，并且具有强度高（比普通陶瓷高 $2\sim3$ 倍）、热硬性高的特点，可在 $1500^{\circ}\text{C}$ 下使用。主要用于高速切削刀具、量具、拉丝模等。在汽车工业中的典型用途为火花塞绝缘体，汽车排气净化器、发动机缸盖底板、缸套、活塞顶等也用到了陶瓷材料。

(2) 非氧化物陶瓷。常用的非氧化物陶瓷有氮化物陶瓷和碳化物陶瓷。工业中应用较广的有碳化硅、氮化硅( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )和立方氮化硼( $\text{BN}$ )等，其硬度接近与金刚石。碳化硅和氮化硅膨胀性小，具有较好抗热振性能（温度急剧变化时，抵抗破坏的能力）。由于制造工艺和添加物不同，氮化硅的强度可从 $350\text{MPa}$ 直至 $1000\text{MPa}$ ，在 $1200^{\circ}\text{C}$ 高温下仍保持不变。碳化硅在 $1650^{\circ}\text{C}$ 下，强度可达 $450\text{MPa}$ 。因此它们可用作高温、高强度结构材料，在发动机、燃气轮上的应用正在试验之中，并取得了很大进展。因为碳化硅、氮化硅及立方氮化硼的高硬度、高耐磨性，故也是一种优良的新型刀具材料。

随着科学技术的发展，近年来又出现了一种强度更高，稳定性更好的刃具陶瓷材料——二氧化锆( $\text{ZrO}_2$ )。这种陶瓷广泛应用于高硬度、难加工材料的高速切削、加热切削上。

## 2. 玻璃

玻璃是一种非晶态固体，它是石英砂、纯碱、长石、石灰石等为主要原料，并加入某些金属氧化物等辅料在 $1550\sim1600^{\circ}\text{C}$ 高温下熔融后经拉制或压制而成的。经过特殊工艺处理，还可制成具有各种不同特殊性能的特殊玻璃。

### 1) 玻璃的性能

玻璃的力学性能随种类不同差异很大，其共性为硬度高（仅次于陶瓷）、抗压强度高、抗拉弯强度低、塑性小、韧性很差，是典型的脆性材料。

玻璃有良好的化学稳定性，对酸、碱的腐蚀具有较强的抵抗能力。但氢氟酸对玻璃具有较强的腐蚀作用；普通玻璃的耐热性较差，经过热处理后，可提高其耐热性。

固态玻璃具有良好的绝缘性能，可用于制造各种绝缘器材和电学仪器。但液态玻璃却具有良好的导电性。

玻璃最突出的特点是具有良好的光学性质，即透明性和折光性。除此之外，特种玻璃还有吸热、防辐射、防爆等特殊性能。广泛用作透光、透视、隔音、隔热等器件及装饰物。在汽车上，主要用作挡风玻璃和车身玻璃等。

## 2) 常用玻璃

玻璃的种类繁多，按其化学组成的不同可分为钠玻璃、钾玻璃、铅玻璃、铝镁玻璃、硼硅玻璃和石英玻璃等；按用途的不同还可分为建筑玻璃、工业玻璃、光学玻璃、化学玻璃及玻璃纤维等。最常用的有以下几种。

(1) 平板玻璃：又称为镜片玻璃。在日常生活中随处可见。主要用于建筑物的门窗上，或进一步处理形成具有特殊性能的其他玻璃，如磨砂玻璃、夹层玻璃、磨光玻璃等。

(2) 浮法玻璃：是经锡槽浮抛成型的高质量平板玻璃。主要特点是表面平整，无波纹，光学性质比一般平板玻璃优良。多用于橱窗的制作及高级建筑的门窗等。

(3) 钢化玻璃：钢化玻璃是普通玻璃经过高温淬火处理（钢化处理）的特种玻璃。钢化玻璃除具有平板玻璃同样的硬度和透明度以外，还具有很高的温度急变抵抗性、耐冲击性和强度高（为平板玻璃的4~6倍）等特点。钢化玻璃在受到冲击破碎后，碎片小而无棱角，不会造成人体伤害。但这种玻璃在破碎前会产生很多裂纹，由于光线的漫射作用，玻璃会变得模糊不清，所以，钢化玻璃仅作为汽车后窗玻璃和侧窗玻璃。

(4) 夹层玻璃：夹层玻璃是将两片或两片以上的平板透明玻璃或钢化玻璃用聚乙烯醇缩丁醛塑料衬片黏合在一起而成的。这种玻璃强度高，即使被击碎后，由于中间有塑料衬片的黏合作用，仅产生辐射状的裂纹而玻璃不致脱落伤人，并且不产生折光现象、透明度仍然良好。各国规定汽车前挡风玻璃必须使用夹层玻璃。

## 3.2.3 复合材料

在汽车轻量化的进程中，要求其使用的结构材料同时具有高弹性模量、高强度、小密度、高可靠性等特点。普通金属、非金属材料已无法同时满足这些要求。

复合材料是指由两种或两种以上物理和化学性质不同的物质组合起来而得到的一种多相固体材料。例如，钢筋混凝土是钢筋、水泥和沙石组成的人工复合材料；现代汽车中的玻璃纤维挡泥板，就是由脆性玻璃和韧性聚合物相复合而成的。复合材料不仅综合了各组成材料的优点，而且获得了单一材料无法达到的优良综合机械性能，甚至某些性能超过了各组成材料性能的总和。

### 1. 复合材料的特性

复合材料的比强度（ $\sigma_b/\rho$ ）、比模量（ $E/\rho$ ）比其他材料高得多。碳纤维增强环氧树脂复合材料的比强度是钢的7倍、比模量是钢的4倍，这对要求减轻自重和高速运转的结构和零件是非常重要的。

复合材料还具有好的抗疲劳性能。多数金属的疲劳极限是拉伸强度的40%~50%，而碳纤维增强复合材料可达到70%~80%。

复合材料每平方厘米面积上有独立纤维几千甚至几万根，当构件过载并有少量纤维断裂

后,会迅速进行应力重新分配,由未断裂的纤维来承载。使构件在短时间内不会去承载能力,提高了使用安全性。

复合材料熔点一般在 2000℃以上。例如,铝合金在 400℃时弹性模量接近于零,强度显著下降而碳(或硼)纤维增强铝合金在此温度下强度和模量基本不变,是高温状态下工作零件的理想材料。

复合材料可以整体成型,减少了零部件紧固和接头数目,材料利用率也高得多。

## 2. 复合材料的组成和分类

### 1) 复合材料的组成

复合材料一般由基体相和增强相组成。基体相起形成几何形状和黏结作用;增强相起提高强度和韧性作用。

### 2) 复合材料的分类

(1) 按基体相类型分类:复合材料分为金属基体和非金属基体两大类。目前大量使用的是以高聚物材料为基体的复合材料。

(2) 按增强相的物理形态分类:复合材料分为纤维增强复合材料、颗粒复合材料及层叠复合材料。

纤维增强复合材料是以有机纤维、无机纤维等做增强相,复合于塑料、树脂、橡胶或金属等为基体相的材料中而制成的。常用的有机纤维有尼龙纤维和芳纶纤维等。无机纤维有玻璃纤维、碳纤维、碳化硅纤维、硼纤维和金属纤维等,如轮胎就是纤维增强复合材料。

颗粒复合材料是由一种或多种颗粒均匀分布在基体相内而制成的。按其颗粒的化学性质不同分为金属颗粒和陶瓷颗粒。不同金属颗粒起着不同作用,如加入银粉、铜粉、可使复合材料具有导电、导热性。加入  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  磁粉后复合材料具有导磁性等。陶瓷颗粒金属基体复合材料具有强度高、硬度高,耐热性、耐磨性、耐腐蚀性好等特点,用来制造高速切削刀具、重载轴承、高温工作零件等,如硬质合金就是颗粒复合材料。

层叠复合材料是由两层或两层以上不同材料复合而成的,如五合板、双金属滑动轴承等。

## 3. 汽车常用复合材料

### 1) 高分子基复合材料(FRP)

FRP 是汽车轻量化的最重要的材料。FRP 主要是由以下三部分组成的。

(1) 纤维:多为玻璃纤维、碳纤维和陶瓷短纤维等,特别是玻璃纤维在价格、生产和性能等方面有明显的优势。纤维含量为 25%~30%。

(2) 树脂:包括聚丙烯 PP、聚乙烯 PVC、聚二烯 PE、ABS 等不饱和聚酯和热塑性树脂。

(3) 填充料:制作过程中,加入适当的硬化剂和增黏剂,使用先进的成形工艺,便可得到成形流动性好的高分子基复合材料。

FRP 早在 20 世纪 50 年代就开始在汽车上使用,现在已得到广泛应用。由于 FRP 的大量应用,使轿车的平均重量大为降低。目前,利用 FRP 制作的汽车部件有车身车顶壳体、发动机部件、仪表盘、阻流板、车灯、前隔栅、夹层板、后闸板等。FRP 中较典型的有以下几种。

(1) 玻璃纤维增强塑料:是指由玻璃纤维与热固性或热塑性树脂复合的材料。通常又称为玻璃钢,它是 20 世纪 40 年代发展起来的第一代复合材料。由于它具有高强度、价格低、来源丰富、工艺性能好等特点,比普通塑料有更高的强度(包括抗拉、抗弯、抗压)和冲击韧度,热膨胀系数减小,尺寸稳定性增加,在汽车行业有广泛的应用。玻璃纤维增强尼龙的强度超过了铝合金而接近于镁合金,可以用来替代这些金属。

在汽车发动机、汽缸盖等部位若采用玻璃纤维强化热塑性树脂 (GF RTP), 比用铸铁制造质量可减轻 45%; 汽车底盘若采用玻璃纤维增强树脂 (GFRP), 其重量可以比用钢铁材料减轻 80%。从 20 世纪 80 年代起, 玻璃纤维增强塑料已被世界各大汽车公司采用, 是汽车上应用最广的复合材料。

(2) 纤维增强塑料: 是以碳纤维或其织物为增强相、以树脂为黏结剂而制成的增强塑料。它的抗拉强度和疲劳强度高、密度低、耐磨性与耐蚀性好、膨胀系数小、能导电、伸长率小, 但抗冲击性差、价格昂贵, 碳纤维与树脂的结合力还不够强。

碳纤维增强塑料将是汽车工业大量使用的增强材料。因为汽车要求油耗小、轻量化、发动机高效化、车型阻力小等, 都迫切希望有一种质轻和一材多用的轻型结构材料, 而碳纤维增强塑料是最理想的选择。它主要的应用有: 发动机系统中的推杆、连杆、摇杆、水泵叶轮; 传动系统中的传动轴、离合器片、加速装置及其罩等; 底盘系统中的悬置件、弹簧片、框架、散热器等; 车体上的车顶内外衬、地板、侧门等。

### 2) 金属基复合材料

金属基复合材料的特点是除了比强度、比刚性好, 耐热耐磨性好, 还具有优良的导热性和导电性。因此如果零件要求兼有以上的综合性能时, 可采用这类材料, 如汽车中的活塞、活塞销、气门摇臂、连杆、汽缸体、挺柱等。但由于制造问题, 目前金属基复合材料未能得到广泛使用。

### 3) 陶瓷基复合材料

陶瓷具有耐高温、抗氧化、高弹性模量和高抗压强度等优点。但由于脆性大经不起冲击, 因而限制了陶瓷的使用。20 世纪 80 年代以来, 通过在陶瓷材料中加入颗粒、晶须及纤维等得到的陶瓷基复合材料, 使陶瓷的韧性大大提高。

陶瓷基复合材料具有高强度、高模量、低密度、耐高温、高的耐磨性和良好的韧性, 目前已用在高速切削工具和内燃机部件上。汽车工业的研究重点是替代金属制造发动机的零部件。汽车发动机部件以至整机, 用陶瓷材料可以提高热效率、无须水冷, 而且比硬质合金的质量轻得多。

常用纤维增强性复合材料种类、特性和应用如表 3.7 所示。

表 3.7 常用纤维增强性复合材料种类、特性和应用

纤维种类	基 体	特 性	用 途
聚芳酰胺纤维 (芳纶纤维)	合成树脂	韧性好, 弹性模量高, 密度低。但耐压强度及弯曲疲劳强度较差	可制造雷达天线罩、高强度绳索 (如降落伞)、高压防腐蚀容器、游艇的船体等
玻璃纤维	合成树脂	有优良的抗拉、抗弯、抗压及蠕变性能, 耐冲击性, 电绝缘性好	可制作减摩、耐磨的机械零件、密封件、仪器仪表零件、管道、泵阀、汽车船舶壳体, 以及建筑结构、飞机制造等
碳纤维	合成树脂 陶瓷 金属	密度小, 强度和弹性模量高, 耐磨, 自润滑性好。热膨胀系数小, 可经受剧烈的加热或冷却, 且可耐用 2000℃ 以上的高温	在航天、航空、原子能工业中用作燃气轮机叶片、发动机体、轴瓦、齿轮、卫星结构, 还可以作人工关节
硼纤维	合成树脂 金属	弹性模量高 耐热性能好	可作航天、航空中的飞行器结构件, 涡轮机、推进器零件
碳化硅纤维	合成树脂	有极高的强度和高温稳定性	可制作涡轮叶片
石棉纤维	合成树脂	耐热, 耐酸, 耐磨, 吸湿性小, 绝缘性好	可制作密封件、制动件, 以及作为绝热材料

## 思 考 题

- 3.1 不同铝合金可通过哪些途径达到强化目的？
- 3.2 何谓硅铝明？它属于哪一类铝合金？为什么硅铝明具有良好的铸造性能？在变质处理前后其组织及性能有何变化？这类铝合金主要用在何处？
- 3.3 主加元素锌含量对黄铜的力学性能有何影响？
- 3.4 滑动轴承合金应具备哪些性能？
- 3.5 钛金属的优点是什么？钛合金有哪几类？
- 3.6 简述橡胶的分类、特点及用途。
- 3.7 什么叫特种陶瓷？特种陶瓷在工业上有何应用？
- 3.8 与传统连接方法相比，胶接技术有哪些特点？
- 3.9 碳纤维复合材料有何性能特点？主要用途是什么？
- 3.10 复合材料有何特点？举例说明玻璃钢的用途。
- 3.11 汽车活塞常用哪种铝合金？其性能如何？
- 3.12 变形铝合金和铸造铝合金是怎样区分的？热处理能强化铝合金和热处理不能强化铝合金是根据什么确定的？
- 3.13 铝合金的强化方法与钢的强化方法有何不同？
- 3.14 分析固溶强化和时效强化的区别？
- 3.15 铝合金时效处理时，温度与时间对合金性能有无影响？为什么？
- 3.16 铜锌合金的性能与含锌量有何关系？
- 3.17 试述滑动轴承合金的性能要求？
- 3.18 试分别叙述常用的几种轴承合金材料性能特点及使用场合？