

中等职业教育数控专业系列教材

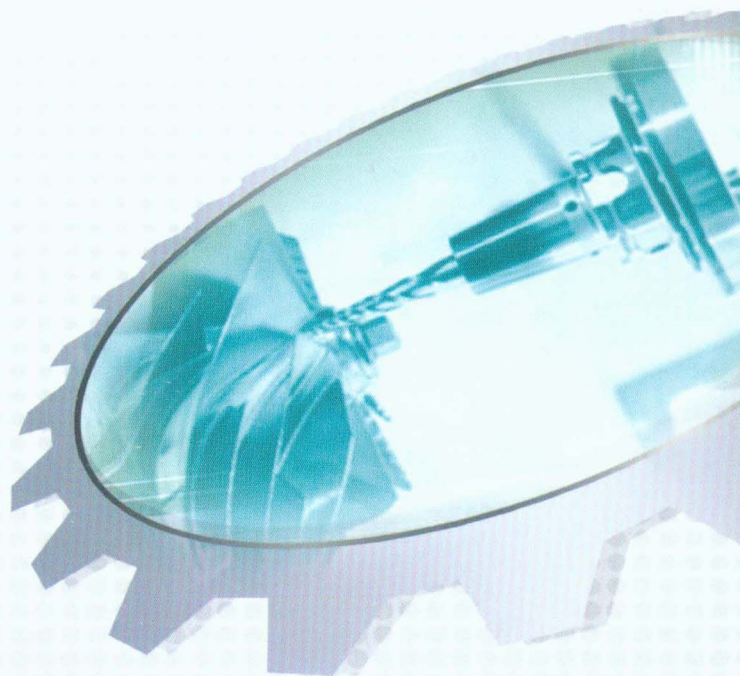
# 金属材料 与热处理



JINSHU CAILIAO  
YU RECHULI

主 编 李贞惠 龚一浩

副主编 王 曾 廖汝洪 唐万军 陈 奇 杜 军



重庆大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

金属材料与热处理 / 李贞惠, 龚一浩主编. -- 重庆:  
重庆大学出版社, 2019.8  
ISBN 978-7-5689-1157-3

I. ①金… II. ①李… ②龚… III. ①金属材料—中  
等专业学校—教材②热处理—中等专业学校—教材 IV.  
①TG14②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 172650 号

**金属材料与热处理**

主 编 李贞惠 龚一浩

副主编 王 曾 廖汝洪 唐万军 陈 奇 杜 军

策划编辑:陈一柳

责任编辑:陈 力 涂 昀 版式设计:陈一柳

责任校对:谢 芳 责任印制:赵 晟

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:饶帮华

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023)88617190 88617185(中小学)

传真:(023)88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

中雅(重庆)彩色印刷有限公司印刷

\*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:10.75 字数:242 千

2019 年 8 月第 1 版 2019 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5689-1157-3 定价:32.00 元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

## 编委会

主 任 赵建国

副主任 何 江 李良平 张光平

程 驰 李贞惠 唐万军 陈家祥

主 审 魏国权



# 前言



金属材料与热处理是机械专业一门必修的专业基础课程。教材编写团队以人力资源和社会保障部的“金属材料与热处理”课程教学大纲为依据,结合一体化教材编写模式设计、组织了该教材的框架结构。

该教材以“项目为主线,任务为主题”,采用“项目导向、任务驱动”相结合的教学模式,实现教、学、做、练一体化。教材项目的编排顺序从宏观了解金属材料的应用与发展到微观分析金属材料内部的组织结构与性能关系,努力做到循序渐进,由易到难,由浅入深,将理论与实践相结合,以满足作为未来中级工或高级工所必须具有的专业基础知识,并为学生更好地学习专业课程奠定良好的基础。

因该课程具有理论性强、内容抽象、概念多等特点,加之技工院校学生年龄小,感性知识积累少,理论基础薄弱,实际生产知识匮乏,所以,教材编写团队在教材的编写过程中,将抽象的文字描述转变成直观的情境教学和案例教学,同时配备大量的教学图片,增加教学的直观性,将抽象的内容形象化、具体化,使学生更容易接受。本书图文并茂,学生既可从有针对性的图案和简洁的图表中获得知识,又可得到美的享受,从而增强抽象理论的可读性,使学习过程变得轻松而快乐。让教师采用新的教学方式,如“项目教学”“情境教学”“案例教学”等,提高学生学习兴趣,吸引学生注意力,丰富学生知识面。

教材共设计了6个项目,23个任务,每一个任务中设置了“情境导入”“讲一讲”“议一议”“评一评”“做一做”“拓展阅读”等栏目,充分调动学生的学习积极性、参与性,让学生在教学活动中完成专业基础知识的学习任务,提升学生的自我学习能力、交流表达能力。

本书由李贞惠、龚一浩担任主编,王曾、廖汝洪、唐万军、陈奇、杜军担任副主编,其余参编的老师有:蔡绍彬、冯伟、翁德平、何晶晶、朱鸿、魏国权、王进峰、杨海。

本教材在编写过程中,由于编者的水平有限,难免存在很多不足和疏漏之处,欢迎各位专家、同仁和广大读者批评斧正,以便进一步修订完善。

编者

2018年6月



# Contents 目录



项目一 金属材料的发展史与分类	1
任务一 认识金属材料的发展史	1
任务二 识记金属材料的分类	7
<hr/>	
项目二 金属材料的性能	14
任务一 熟悉金属材料性能的内涵	14
任务二 测定螺栓的强度与塑性	19
任务三 测定传动轴的硬度	29
任务四 测定锻模件的冲击韧性	36
<hr/>	
项目三 金属材料的牌号	41
任务一 识读碳素钢的牌号	41
任务二 识读合金钢的牌号	51
任务三 识读铸铁的牌号	58
任务四 识读有色金属及硬质合金的牌号	65
<hr/>	
项目四 金属材料的选择	79
任务一 明确金属零件选材的一般原则与方法	79
任务二 熟悉常用机械零件材料的选择方法	84
任务三 熟悉工量刀具材料的选择方法	92
<hr/>	
项目五 钢的热处理常识与应用	99
任务一 识记钢的热处理常识	99
任务二 选择丝锥的热处理	106
任务三 选择车床主轴的热处理	113

任务四 选择齿轮的热处理 .....	117
<hr/>	
项目六 金属材料的微观世界 .....	125
任务一 熟悉金属的晶体结构的内涵 .....	125
任务二 认识纯金属的结晶 .....	130
任务三 认识合金及其组织 .....	138
任务四 熟悉铁碳合金的基本组织与性能 .....	143
任务五 分析铁碳合金相图 .....	147
任务六 熟悉铁碳合金相图的应用 .....	154
<hr/>	
附录 .....	157
附录一 压痕直径与布氏硬度对照表 .....	157
附录二 黑色金属硬度及强度换算表 1 .....	161
附录三 黑色金属硬度及强度换算表 2 .....	163
附录四 常用钢的临界点 .....	164
<hr/>	
参考文献 .....	166



## 项目一

# 金属材料的发展史与分类

## 任务一 认识金属材料的发展史

### 【情境导入】

随着人类社会的发展,科学技术水平的不断提高,人们的生活越来越便捷,而这一切都离不开材料的发展,材料是人类生存、发展以及改造自然的物质基础。近代以来,金属材料在社会经济发展中占有不可替代的地位(图 1-1)。在人类社会发展进程中金属材料的发展经历了哪些时代和过程呢?

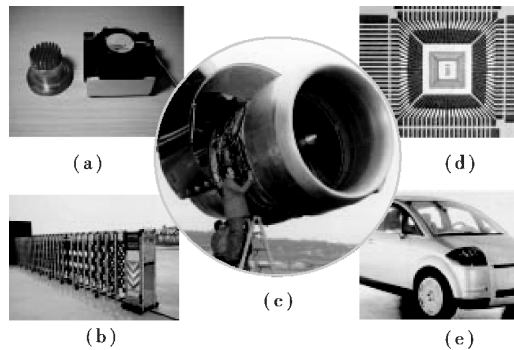


图 1-1 材料的应用

(a) 计算机散热器中的纯铜柱;(b) 电动伸缩门材料;(c) 飞机喷气发动机中的钛合金部件;  
(d) 精密电子元件中的金导线;(e) 汽车钣金

## 【讲一讲】

### 一、人类历史时代的划分

#### 1. 石器时代

石器(图 1-2)是以石头为原料制成的工具,是人类最早使用的生产工具。人类使用石器的时期称为石器时代。

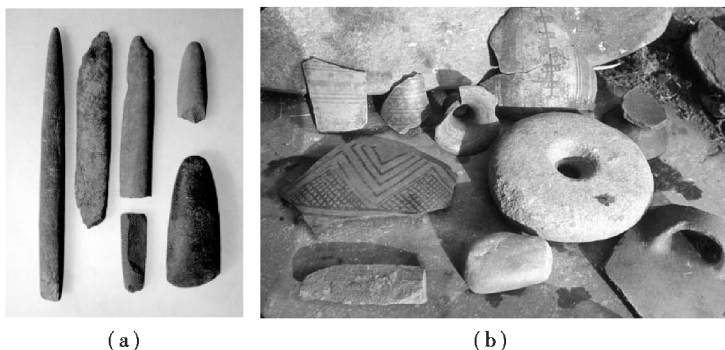


图 1-2 石器

#### 2. 青铜时代

青铜时代约从公元前 4000 年至公元初,中国始于公元前 1800 年。青铜时代标志着人类开始学会冶炼和使用金属材料(图 1-3)。

#### 3. 铁器时代

铁器时代是继青铜时代之后的又一个时代,它以能够冶铁和制造铁器为标志(图 1-4)。世界上最早锻造出铁器的是赫梯王国,距今约 4500 年。

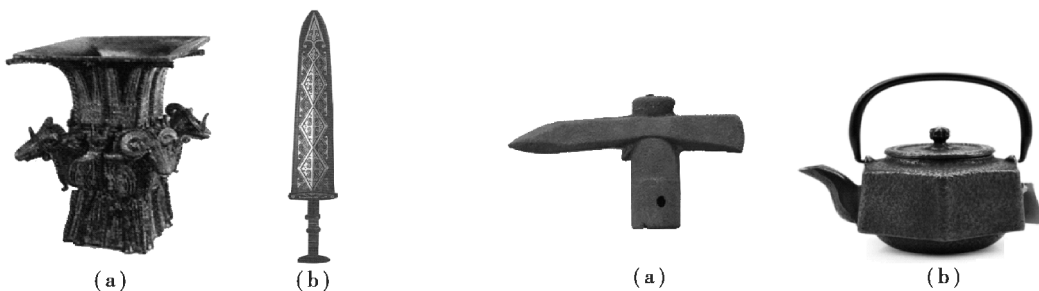


图 1-3 青铜器

图 1-4 铁器

#### 4. 钢铁时代

18 世纪的工业革命使人类使用材料的历史产生了重大突破,人类掌握了炼钢的方法。人们不再简单地使用工具,而开始使用真正意义的机器,这标志着工业时代的来临。钢铁材料在现代生活、生产、建筑等领域中扮演着重要的角色(图 1-5)。

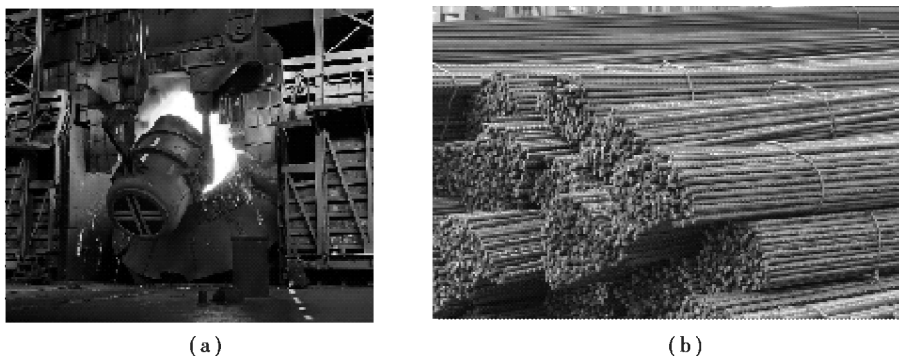


图 1-5 钢铁

### 5. 人工合成材料时代

合成材料又称人造材料(图 1-6),是人为地把不同物质经化学方法或聚合作用加工而成的材料,其特质与原料不同,如塑料、合金(部分合金)等。塑料、合成纤维和合成橡胶号称 20 世纪三大有机合成材料,它们的登台大大地提高了国民生活水平,对国计民生的重要性是不言而喻的。



图 1-6 人工合成材料

## 二、金属材料在现代科学技术中的作用与地位

当今国际社会公认:材料、能源和信息技术是现代文明的三大支柱。从现代科学技术发展史中可以看到,每一项重大的技术发明往往都有赖于新材料的发展。

在人类使用的众多材料中,金属材料以其所特有的各种优异性能,被广泛地应用于生活和生产中,是现代工业和科学技术领域不可缺少的重要材料。金属材料是指金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料的统称,包括纯金属、合金、特种金属材料等。在 21 世纪,金属材料仍占有重要地位,其主要原因是:

①金属材料资源丰富,在相当长时间内不会枯竭,在海洋和地壳深处都还蕴藏着大量的金属矿物有待开发。

②金属材料有非常成熟的生产工艺、相当大的生产规模、相当多的生产加工设施和长

期的使用经验,已经成为国民经济和社会发展的重要基础材料。

③金属材料具有优异的综合性能,是高分子材料和陶瓷材料无法替代的。

④金属材料仍具有很大的改进和发展空间,其新技术和新产品在不断增加,材料质量在不断提高。

### 三、金属材料的现状

当前的金属材料通常有黑色金属、有色金属和特种金属材料。

- 黑色金属材料又称为钢铁材料,包括工业纯铁、铸铁、碳钢材料,以及各种用途的结构钢、不锈钢、耐热钢、高温合金不锈钢等钢材。广义的黑色金属还包括铬、锰及其合金材料。

- 有色金属材料是指除铁、铬、锰以外的所有金属及其合金材料,通常分为轻金属、重金属、贵金属、半金属、稀有金属和稀土金属材料等。有色合金材料的强度和硬度一般比纯金属材料高,并且具有电阻大、电阻温度系数小的特点。

- 特种金属材料包括不同用途的结构金属材料 and 功能金属材料,其中有通过快速凝固工艺获得的非晶态金属材料,以及准晶、微晶、纳米晶金属材料等;还有隐身、抗氢、超导、形状记忆、耐磨、减振阻尼等特殊功能合金以及金属基复合材料等。

### 四、金属材料的未来

当今社会,金属材料在人类社会中的地位受到了前所未有的挑战。一方面,高分子材料和陶瓷材料对传统金属材料造成冲击。首先是高分子材料,高分子材料尤其是工程塑料,从性能到应用的许多方面已能和传统的金属材料相抗衡,加上其原料丰富、价格便宜、产量惊人,已经迅速崛起。其次是陶瓷材料,陶瓷材料在现代电子工业中占有异常重要的地位。另一方面,金属材料自身对能源、资源和环境三方面造成的消耗很大。金属材料经过数千年的发展,某些主要的金属矿产资源日渐紧张、高质量的金属矿产很快减少,低质量的矿物使能源消耗和成本增加,这些都使金属工业成为能源的最重要消耗者,同时也是严重的环境污染者。基于以上的原因,金属材料的发展可以在以下两个方面进行:

①对已有的金属材料要最大限度地提高它的质量,挖掘它的潜力,使其产生最大的效益。这要求金属材料的制造技术要有飞跃性的进步。冶炼技术、炉外精炼技术、铸造技术、连铸连轧技术、热处理技术、粉末冶金技术等传统工艺的改进,加上微量杂质的控制技术、微量元素的合金化技术、高纯净度低偏析技术等发明,都使金属材料焕发了第二春。

②希望金属材料能够开拓出新的功能,以适应更高的使用要求。例如,钛合金的记忆性以及生物亲和性等,都是传统金属材料在未来发展的新方向。

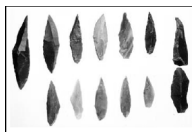
总之,回顾了金属材料的历史、作用、现状和未来,我们有信心相信,金属材料会在人类社会的明天展现出更好地服务人类的一面。

### 【议一议】

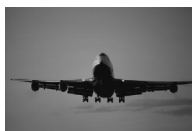
活动一:连连看,试将图 1-7 中的图片与所属时代连线匹配。



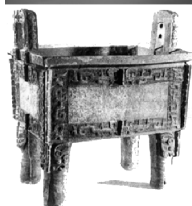
人工合成材料时代



铁器时代



青铜时代



石器时代

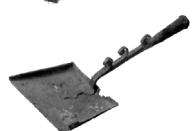


图 1-7

活动二:说出下列金属材料在实际应用中有哪些优异性能?

1. 钛
2. 铝
3. 铜
4. 金

活动三:分组讨论金属材料的未来发展方向、趋势。

### 【做一做】

#### 简答题

1. 列举 5 种不同种类金属及用途。
2. 简述金属材料在现代科学技术中的重要意义。

### 【评一评】

试用量化方式(评星)评价本节学习情况,并提出意见与建议。

学生自评: \_\_\_\_\_

小组互评: \_\_\_\_\_

老师点评: \_\_\_\_\_

## 【拓展阅读】

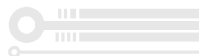
### 材料的发展历史

纵观人类利用材料的历史,人类在大约公元前 4000 年由石器时代进入铜器时代,而后又在公元前 1200 年步入了铁器时代。此时出现的金属材料表明当时的社会生产力达到了一个新的高度,人们发现陶器能够承受高温,掌握了用火在陶质容器内把金属熔化,然后将液态的金属倒进模腔内,以铸成所需的工具。金属铜的应用早于金属铁,这是因为天然铜在自然界中存在而铁则被氧化,同时金属铜的熔点比金属铁的要低。随着炼铜技术逐步提升,我们的祖先已经不知不觉地发现了“合金”,最早的合金可能是青铜,它约由 10% 锡和 90% 铜构成。

随着青铜技术的不断发展,人们意识到增大锡的比例会使合金变硬,换句话说“合金”比单一的金属拥有更好的性能。此后更延伸出黄铜等适用于不同场合的合金。不久人类社会从青铜时代进入铁器时代。铁器时代已经能运用很复杂的金属加工工艺来生产铁器。铁的高硬度、高熔点与铁矿的高蕴含量,铁相对于青铜来说来得便宜并在各方面运用,所以其需求很快便远超青铜。而在几百年后的欧洲,资本主义萌芽带来的社会化大生产也促使金属的冶炼和材料的制造向着工厂化、规模化发展。

英国在 18 世纪初已经出现了“高炉”的原型,日产铁以吨计。开始工人们使用木炭等天然燃料,后来改用焦炭并安装上鼓风机,慢慢演变为近代的高炉,这是炼铁工业的起点。由于铁的大规模生产,人类物质文明的进一步提高,铁轨等应运而生。19 世纪,一个英国人找到了将铁炼成钢的方法,他把空气直接鼓入铁水中使杂质烧掉。后来知道铁水中含有 C、S、P 等杂质,将影响铁的强度和脆性等;为提高铁的性能,需要对铁水进行再冶炼以去除上述杂质。对铁水进行重新冶炼以调整其成分的过程称为炼钢。在之后的一些由于铁的性能不足而引发的事故中,人类意识到钢是更适合的工程材料,于是代替铁轨的钢轨等钢材在人类社会蔓延开来。由于金属材料的优良导电性,第二次工业革命的迅速开展使人类步入电气时代。

近代以来,合金钢以及其他金属材料飞速发展。高速钢、不锈钢、耐热钢、耐磨钢、电工用钢等特种钢相继出现,其他合金如铝合金、铜合金、钛合金、钨合金、钼合金、镍合金等加上各种稀有合金也不断发展,金属材料在全社会的经济发展中具有了不可替代的地位。



## 任务二 识记金属材料的分类

### 【情境导入】

金属材料在现代生产生活中具有不可替代的作用,不同的金属其组成元素不同且具有不同的性能,充分了解金属材料类型才能更好地掌握、应用金属材料(图 1-8)。

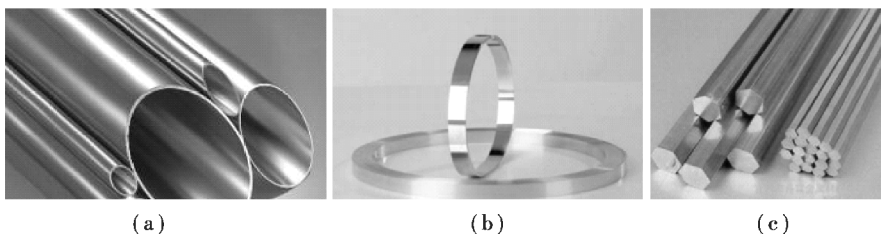


图 1-8 金属材料

同学们,日常生活中常见金属材料有哪些? 总体分为哪几种? 每种金属材料的组成元素又有哪些呢?

### 【讲一讲】

#### 金属及金属材料的分类

所谓金属是指由单一元素构成的具有特殊光泽以及一定的延展性、导电性、导热性的物质,如金、银、铜、铁、铝、锰、锌等。而合金是指由一种金属元素与其他金属元素或非金属元素通过熔炼或其他方法合成的具有金属特性的材料。金属材料是金属及其合金的总称,即金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的物质。

金属材料通常分为三大类,即黑色金属材料、有色金属材料和硬质合金。

##### 1. 黑色金属

黑色金属又称为钢铁材料(图 1-9),包括含铁 90% 以上的工业纯铁、含碳 2% ~ 4% 的铸铁、含碳小于 2% 的碳钢以及各种用途的合金结构钢、不锈钢、耐热钢、高温合金、精密合金等。广义的黑色金属还包括锰(Mn)、铬(Cr)以及它们的合金。黑色金属的命名来源于钢铁表面常常被一层黑色的  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  膜覆盖,而锰和铬常用来与铁制成合金钢,故将锰和铬与铁一起统称为黑色金属。

##### 2. 有色金属

有色金属是指除了铁、铬以外的所有金属及其合金,通常又将其分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属等。有色金属中除了金为黄色,铜为赤红色以外多数呈银白色。有色金属合金的强度和硬度一般比纯金属高,并且电阻大、电阻温度系数小。



图 1-9 黑色金属制品

### (1) 重金属

重金属一般是指密度  $\rho > 4.5 \text{ g/cm}^3$  的有色金属,包括元素周期表中的大多数过渡元素,如铜(Cu)、锌(Zn)、镍(Ni)、钴(Co)、钨(W)、钼(Mo)、镉(Cd)及汞(Hg)等。此外,铋(Sb)、铋(Bi)、铅(Pb)及锡(Sn)等也属于重金属。重金属主要用作各种用途的镀层及多元合金(图 1-10)。

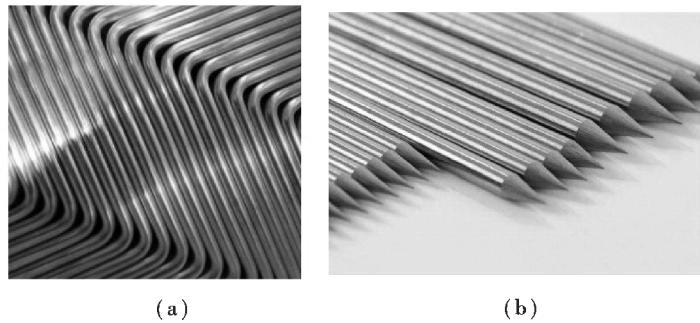


图 1-10 重金属材料

### (2) 轻金属

密度  $\rho < 4.5 \text{ g/cm}^3$  的有色金属称为轻金属(图 1-11),如铝(Al)、镁(Mg)、钙(Ca)、钾(K)、钠(Na)、铯(Cs)等。工业上常采用电化学或化学方法对 Al、Mg 及其合金进行加工处理,以获得各种优异的性能。

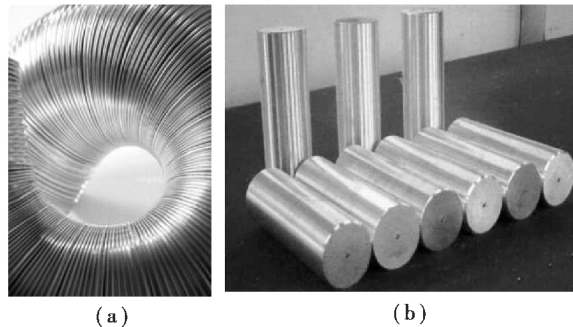


图 1-11 轻金属材料

### (3) 贵金属

贵金属是指物理、化学性质稳定,地壳中蕴藏量少,价格昂贵或具有雍容华贵外观的有色金属,有金(Au)、银(Ag)、铂(Pt)、铑(Rh)、钯(Pd)、铱(Ir)、钌(Ru)和锇(Os) 8种。工业上常采用电镀方法在价格便宜的基体上获得贵金属的薄镀层,以满足高稳定性、电接触性能以及贵重装饰品的需求(图 1-12)。



图 1-12 贵金属制品

### (4) 稀有金属

稀有金属一般是指在自然界中含量较少、分布分散及研究应用较少的有色金属。稀有金属包括稀土金属、放射性稀有金属、稀有贵金属、稀有轻金属、难溶稀有金属及稀有分散金属等。

#### 3. 硬质合金

硬质合金是由难熔金属的硬质化合物和黏结金属通过粉末冶金工艺制成的一种合金材料。硬质合金具有硬度高、耐磨、强度和韧性较好、耐热、耐腐蚀等一系列优良性能,特别是它的高硬度和耐磨性,即使在 500 °C 的温度下也基本保持不变,在 1 000 °C 时仍有很高的硬度。

硬质合金广泛用作刀具材料,如车刀、铣刀、刨刀、钻头、镗刀等,用于切削铸铁、有色金属、塑料、化纤、石墨、玻璃、石材和普通钢材,也可以用来切削耐热钢、不锈钢、高锰钢、工具钢等难加工的材料。

## 【议一议】

活动一:记一记常见有色金属元素种类。

活动二:连连看,试将常见金属元素与属性连线匹配。

黑色金属	稀土金属
重金属	银(Ag)
稀有金属	铝(Al)
贵金属	镍(Ni)
轻金属	铬(Cr)

活动三:分组讨论表 1-1 中现代金属材料的特点及材料代表。

表 1-1 现代金属材料的类型、特点与代表

材料类型	材料特点	材料代表
先进结构材料		
高温合金材料		
复合材料		
超导材料		
能源材料		
智能材料		
磁性材料		
纳米材料		

活动四:分组讨论传统金属材料未来的发展方向、应用前景。

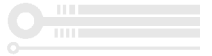
## 【做一做】

### 一、判断题(正确的打√,错误的打×)

1. 铝合金具有密度小、导热性好、易于成型、价格低廉的优点。 ( )
2. 金属的硬度都比塑料的硬度大。 ( )
3. 金属的熔点比非金属熔点高。 ( )
4. 金属材料通常分为黑色金属材料、有色金属材料和特种金属材料。 ( )
5. 铝镁合金、合金钢属于先进结构材料。 ( )

### 二、列举下列金属在日常生活中的应用

1. 铝
2. 铜
3. 镁
4. 钨



## 【评一评】

试用量化方式(评星)评价本节学习情况,并提出意见与建议。

学生自评: \_\_\_\_\_

小组互评: \_\_\_\_\_

老师点评: \_\_\_\_\_

## 【拓展阅读】

### 一、现代金属材料的结构特点和用途

#### 1. 先进结构材料

特点:高比强度、高比刚度、耐高温、耐腐蚀、耐磨损。

途径:细化、均匀化组织,合金化,改进加工技术。

代表:铝镁合金、合金钢,复合材料。

#### 2. 高温合金材料

特点:高比强度、高比刚度,提高高温工作效率。

途径:颗粒或短纤维增强金属基复合材料。

用途:航空发动机,涡轮。

代表:Ti、Ti-Al 合金。

#### 3. 复合材料

特点:高强度、高模量。

代表:铝、镁、钛等金属基体复合。

#### 4. 超导材料

超导材料最诱人的应用是发电、输电和储能。

#### 5. 能源材料

能源材料主要有太阳能电池材料、储氢材料、固体氧化物电池材料等。

#### 6. 智能材料

常见的智能材料有形状记忆合金、压电材料、磁致伸缩材料等。

#### 7. 磁性材料

磁性材料分为软磁材料和硬磁材料。

- 软磁材料:易于磁化并可反复磁化的材料。其代表有:铁硅合金、铁镍合金、非晶金属。

- 硬磁材料:永磁材料经磁化后,去除外磁场仍保留磁性。其代表有:铁氧体和金属永磁材料。