



普通高等教育“十五”国家级规划教材

材料加工原理

徐 洲 姚寿山 主编

 科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十五”国家级规划教材

材料加工原理

主编	徐 洲	姚寿山	
协编	陈玉勇	陈子勇	任学平
	陈金德	陈森灿	赵连城
审阅	王浩伟	肖文斌	
	陈世朴	耿 林	

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是材料科学与工程专业的基础理论课程教材,按照材料科学与工程专业的教学大纲编写,并已被列为普通高等教育“十五”国家级规划教材。其内容包括金属材料、陶瓷材料和高分子材料在各种加工过程中的基本原理和理论知识。本教材以材料的“加工原理”为主线,分为“材料液态成形原理”、“材料固态成形原理”和“材料固态相变原理”三部分,着重讲述上述三大类材料加工过程中共性的、基本的原理和理论,并突出三大类材料加工过程中各自的独特性。

本书既可作为材料科学与工程及相关专业本科生的专业基础课程的教材,又可用作从事金属材料、陶瓷材料和高分子材料研究、生产和使用的科研人员和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

材料加工原理/徐州,姚寿山主编. —北京:科学出版社,2003

(普通高等教育“十五”国家级规划教材)

ISBN 7-03-011040-4

I. 材… II. ①徐…②姚… III. 工程材料-加工-理论-高等学校-教材
IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 101575 号

责任编辑:李宇 马长芳 钟谊/责任校对:钟洋

责任印制:刘秀平/封面设计:黄华斌

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年1月第一版 开本:B5(720×1000)

2003年1月第一次印刷 印张:30

印数:1—3 000 字数:586 000

定价:39.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

为了体现材料专业教学内容的系统性、基础性、先进性和广泛性，培养基础宽厚扎实、适应能力强的高素质人才，上海交通大学和国内许多高校进行了专业整合和学科调整，成立了材料科学与工程专业。材料科学与工程专业涵盖金属材料、陶瓷材料、高分子材料及复合材料。“材料加工原理”课程是在原有“金属铸造原理”、“金属塑性成形原理”和“金属热处理原理”的基础上，结合陶瓷材料和高分子材料的加工原理内容发展而成，是材料科学与工程专业本科生必修的专业基础课程。在专业拓宽、课程内容增加而总学时数减少的情况下，为使本科生教学与研究生教学内容层次分明，改变原有材料类各专业的划分过细、内容过深的教学，迫切需要一本基础理论系统、内容详实、通俗易懂的新教材，以满足专业拓宽后的大材料专业本科生基础教学的需要。本教材就是在这种形势下，按照新的材料科学与工程专业教学大纲编写，并且已经被列为普通高等教育“十五”国家级规划教材。

《材料加工原理》涉及到金属材料、陶瓷材料和高分子材料在各种加工过程中的基本原理和理论知识，概念性强，内容丰富。“材料加工”的内涵十分广泛，诸如金属材料有铸造、焊接、压力加工、热处理、粉末冶金等工艺；陶瓷材料和复合材料的基本加工方法包含有铸造、压力加工和热处理等工艺；高分子材料的成形可采用压铸、拉拔等加工方法，而上述所有的材料都可通过热处理工艺来改变其内部结构，从而改变其性能。本教材以材料的“加工原理”为主线，分为“材料液态成形原理”、“材料固态成形原理”和“材料固态相变原理”三大基本组成部分，力图融合主要工程材料加工过程中共性的、基本的原理和理论，并突出各类材料加工过程的特性，结合材料加工的各种综合实验教学使学生能够掌握主要工程材料加工的基本原理和特性，同时了解材料加工制备的基本过程，加深理论知识，提高实践能力。

本教材由上海交通大学徐洲教授和姚寿山教授主编。第一篇“材料液体成形原理”由哈尔滨工业大学陈玉勇教授和陈子勇副教授编写，第二篇“材料固态成形原理”由上海交通大学姚寿山教授编写，第三篇“材料固态相变原理”由上海交通大学徐洲教授编写。上海交通大学徐洲教授和姚寿山教授（第一篇）、北京科技大学任学平教授、西安交通大学陈金德教授和清华大学陈森灿教授（第二篇）、哈尔滨工业大学赵连城教授（第三篇）参与了编写和编审工作。上海交通大学王浩伟教授（第一篇）、肖文斌教授（第二篇）、陈世朴教授和哈尔滨工业大

学耿林教授（第三篇）进行了认真的审阅。在此一并表示衷心的感谢。

本教材的编写是贯彻执行新教学大纲的一种初步尝试，由于水平有限，经验不足，时间仓促，必然存在很多缺点和错误，恳切希望读者提出宝贵意见。

编者

2002年7月

本书常见符号表

C	溶质浓度, 溶解度, 比热	u	生长速度, 位移矢量
D	扩散系数, 间距	V	体积, 速度
d	直径, 间距	W	形核功, 变形功, 质量
E	感应电动势, 弹性能	X	体积分数
F	力	α	热力学参数, 热膨胀系数
f	频率, 概率, 分数	γ	表面张力, 切应变
G	自由能, 切变模量, 长大速度, 温度梯度	δ	厚度, 距离, 孔径, 点阵错配度, 延伸率
H	焓	ω	含量, 转速
I	形核率	Φ	磁通量
k	玻尔兹曼常量, 常数, 系数	η	动力黏度
L	结晶潜热, 间距, 直径, 长度	μ	运动黏度, 取向因子, 化学势
m	斜率	ν	速度, 跳跃(振动)频率, 配位数泊松比, 应力矢量
N	感应器匝数, 原子数, 晶粒度级别	σ	界面张力, 比界面能, 强度, 应力
n	原子数, 晶粒数, 颗粒数, 指数	θ	接触角
P	压力	ρ	密度, 马氏体含碳量
Q	激活能	λ	导热系数, 膨胀系数, 层间距, 距离
q	溶质量, 热量	ϵ	辐射系数, 弹性应变能, 应变
R	气体常数, 生长速度, 半径	ν	速度
r	半径	τ	孕育期, 时间, 切应力
S	熵, 面积, 间距		
T	温度		
t	时间		

目 录

第一篇 材料液态成形原理

第一章 普通合金材料的熔配原理	(1)
1.1 普通合金材料概论	(1)
1.1.1 铸铁材料	(1)
1.1.2 铸钢材料	(2)
1.1.3 铸造铝合金、镁合金材料	(3)
1.1.4 铸造铜合金材料	(6)
1.2 普通合金的熔配原理	(7)
1.2.1 铸铁材料的熔配	(7)
1.2.2 铸钢材料的熔配	(18)
1.2.3 铝合金材料的熔配	(27)
1.2.4 铜合金材料的熔配	(34)
1.2.5 镁合金、钛合金材料的熔配	(35)
1.3 液态金属的性质	(37)
1.3.1 黏度理论	(37)
1.3.2 表面张力和界面能	(39)
1.3.3 吉布斯吸附方程	(40)
1.3.4 斯托克斯公式	(41)
1.3.5 半固态流变规律	(41)
第二章 金属的凝固原理	(43)
2.1 凝固理论基础	(43)
2.1.1 液态金属结晶的热力学条件	(43)
2.1.2 形核与形核率	(44)
2.1.3 晶体的长大	(51)
2.1.4 单相合金	(58)
2.1.5 共晶合金的结晶	(74)
2.2 凝固组织的形成与控制	(84)
2.2.1 铸件宏观结晶组织的形成及其影响因素	(85)
2.2.2 凝固过程中晶核游离	(85)

2.2.3	表面细晶粒区的形成	(87)
2.2.4	柱状晶区的形成	(88)
2.2.5	内部等轴晶区的形成	(89)
2.2.6	铸件凝固组织的控制	(91)
2.3	单向凝固与快速凝固	(100)
2.3.1	单向凝固技术	(100)
2.3.2	单晶生长	(104)
2.3.3	快速凝固技术与传热特点	(111)
2.3.4	快速凝固晶态合金的组织与特征	(115)
第三章	复合材料的成形	(121)
3.1	复合材料概论	(121)
3.1.1	复合材料的定义	(121)
3.1.2	复合材料的分类	(122)
3.2	复合材料的原材料	(123)
3.2.1	复合材料的基体	(123)
3.2.2	复合材料的增强相	(129)
3.3	复合材料的成形工艺	(133)
3.3.1	聚合物基复合材料的成形工艺	(133)
3.3.2	金属基复合材料的成形技术	(135)
3.3.3	陶瓷基复合材料的制备工艺	(142)
3.4	复合材料的界面	(145)
3.4.1	聚合物基复合材料的界面	(145)
3.4.2	金属基复合材料的界面	(149)
3.4.3	陶瓷基复合材料的界面	(151)
3.5	复合材料的应用	(152)
3.5.1	金属基复合材料的应用	(152)
3.5.2	聚合物基复合材料的应用	(154)
3.5.3	陶瓷基复合材料的应用	(156)

第二篇 材料固态成形原理

第四章	固态成形的物理基础	(157)
4.1	金属塑性成形的机理及其组织结构与性能的变化	(157)
4.1.1	冷态塑性变形的机理及其组织结构与性能的变化	(157)
4.1.2	热态塑性变形的机理及其组织结构与性能的变化	(166)
4.2	粉末成形	(172)

4.2.1	粉末的制取	(173)
4.2.2	粉末的特性	(176)
4.2.3	粉末模压成形	(179)
4.2.4	粉末烧结成形	(183)
4.3	高分子材料的成形	(194)
4.3.1	塑料的组成、分类及主要成形方法	(194)
4.3.2	塑料成形理论基础	(197)
第五章	固态塑性成形的力学基础	(206)
5.1	基本假设	(206)
5.2	应力	(207)
5.2.1	应力的概念	(207)
5.2.2	斜面上的应力	(208)
5.2.3	主应力与应力张量不变量	(211)
5.2.4	应力平衡方程式	(213)
5.3	应变	(213)
5.3.1	应变的概念与位移几何方程	(213)
5.3.2	应变增量和应变速率	(215)
5.3.3	应变的连续方程与体积不变条件	(216)
5.3.4	工程应变的主应变	(217)
5.4	屈服准则与应力应变关系	(218)
5.4.1	简单拉伸与屈服	(218)
5.4.2	屈服准则的一般形式	(219)
5.4.3	两个常用的屈服准则	(219)
5.4.4	塑性应力应变关系	(221)
5.5	应力状态对塑性变形的影响	(226)
5.5.1	应力状态对塑性的影响	(227)
5.5.2	应力状态对变形抗力的影响	(227)
5.5.3	静水压力对屈服极限的影响	(228)
5.6	应力-应变曲线	(229)
5.6.1	条件应力-应变曲线	(229)
5.6.2	变形体的模型	(230)
5.6.3	真实应力-应变曲线	(233)
第六章	固态塑性成形理论的应用	(236)
6.1	塑性成形问题	(236)
6.1.1	塑性成形问题解的概念	(236)
6.1.2	求解基本方程的简化	(237)

6.2	主应力法	(240)
6.2.1	主应力法求解的基本假设	(240)
6.2.2	长矩形板锻造问题的求解	(241)
6.2.3	圆柱体锻造问题	(243)
6.2.4	拉拔	(245)
6.3	滑移线场理论与汉盖应力方程	(249)
6.3.1	基本概念	(250)
6.3.2	汉盖应力方程	(251)
6.3.3	滑移线的性质	(252)
6.3.4	塑性区的应力边界条件	(254)
6.3.5	厚壁圆筒塑性变形时所需内压力的确定	(256)
6.4	盖林格尔速度方程及速度图	(257)
6.4.1	盖林格尔速度方程	(257)
6.4.2	速度场 (速度矢量图)	(258)
6.4.3	速度间断	(260)
6.5	滑移线场理论的应用	(261)
6.5.1	平冲头压入半无限高坯料问题	(261)
6.5.2	平面挤压问题	(263)
6.6	基本能量方程式	(266)
6.6.1	极值定理概述	(266)
6.6.2	基本能量方程式	(268)
6.7	上、下限定理及应用	(270)
6.7.1	下限定理	(270)
6.7.2	上限定理	(271)
6.7.3	上限定理的应用	(273)
第七章	特种固态成形	(278)
7.1	超塑性成形	(278)
7.1.1	超塑性成形的基本特点和种类	(279)
7.1.2	微细晶粒超塑性的力学特性	(280)
7.1.3	超塑性变形机理	(281)
7.1.4	超塑性成形的应用	(284)
7.1.5	超塑性成形的材料与工艺规范	(285)
7.2	粉末特种成形	(290)
7.2.1	粉末锻造	(290)
7.2.2	粉末轧制	(299)

第三篇 材料固态相变原理

第八章 固态相变基础	(307)
8.1 固态相变概论	(307)
8.1.1 固态相变的主要分类	(307)
8.1.2 固态相变的主要特点	(312)
8.2 固态相变热力学	(317)
8.2.1 固态相变的热力学条件	(317)
8.2.2 固态相变的形核	(319)
8.2.3 固态相变的晶核长大	(325)
8.3 固态相变动力学	(329)
8.3.1 固态相变的速率	(329)
8.3.2 钢中过冷奥氏体转变动力学	(332)
第九章 共析与逆共析型相变	(341)
9.1 逆共析相变——钢中奥氏体的形成	(341)
9.1.1 奥氏体的组织特征	(341)
9.1.2 奥氏体的形成机制	(343)
9.1.3 奥氏体形成动力学	(346)
9.1.4 奥氏体晶粒长大及其控制	(353)
9.2 共析相变	(359)
9.2.1 珠光体的组织特征	(359)
9.2.2 珠光体转变机制	(362)
9.2.3 珠光体转变动力学	(368)
9.2.4 珠光体转变产物的机械性能	(372)
第十章 切变共格型相变	(376)
10.1 马氏体相变	(376)
10.1.1 马氏体相变的主要特征	(376)
10.1.2 马氏体相变热力学	(380)
10.1.3 马氏体相变晶体学的经典模型	(384)
10.1.4 马氏体相变动力学	(387)
10.2 钢及铁合金中的马氏体相变	(389)
10.2.1 钢中马氏体的晶体结构	(389)
10.2.2 钢及铁合金中马氏体的组织形态	(391)
10.2.3 奥氏体的稳定化	(396)
10.2.4 马氏体的机械性能	(399)

10.3	陶瓷中的马氏体相变	(405)
10.3.1	ZrO ₂ 基陶瓷的同素异构转变	(405)
10.3.2	ZrO ₂ 基陶瓷中的 $t \rightarrow m$ 马氏体相变	(407)
10.3.3	陶瓷中的马氏体相变韧化	(412)
10.4	贝氏体相变	(415)
10.4.1	贝氏体相变的基本特征和组织形态	(416)
10.4.2	贝氏体相变机制	(420)
10.4.3	贝氏体相变动力学及其影响因素	(424)
10.4.4	钢中贝氏体的机械性能	(428)
第十一章	脱溶沉淀型转变	(430)
11.1	脱溶沉淀与时效	(430)
11.1.1	脱溶过程和脱溶物的结构	(431)
11.1.2	脱溶热力学和动力学	(434)
11.1.3	脱溶后的显微组织	(436)
11.1.4	脱溶时效时的性能变化	(439)
11.2	钢中的回火转变	(443)
11.2.1	淬火碳钢回火时的组织转变	(443)
11.2.2	合金元素对回火转变的影响	(452)
11.2.3	回火时机械性能的变化	(456)
参考文献	(462)

第一篇 材料液态成形原理

第一章 普通合金材料的熔配原理

1.1 普通合金材料概论

1.1.1 铸铁材料

铸铁是含碳量大于 2.11% 或者组织中具有共晶组织的铁碳合金。工业上所用的铸铁大都是以铁、碳、硅为主要元素的多元合金,其成分范围约为:2.4% ~ 4.0% C, 0.6% ~ 3.0% Si, 0.2% ~ 1.2% Mn, 0.1% ~ 1.2% P, 0.08% ~ 0.15% S。根据碳在铸铁中存在的形态不同,可将铸铁分为白口铸铁、灰口铸铁及麻口铸铁。灰铸铁又可根据石墨的形态不同而分为普通灰铸铁、蠕虫状石墨铸铁、球墨铸铁以及可锻铸铁^[1,2]。

1. 白口铸铁

碳除少量溶于铁素体外,绝大部分以碳化物的形式存在于铸铁中,断口呈银白色。白口铸铁的特点是硬而脆,很难加工,所以一般都不希望出现白口。但在实际生产中有时也可利用白口铸铁的硬度高、抗磨损性能好等特点,制造一些高耐磨的零件和工具,如农具、球磨机内衬和磨球、喷丸机叶片以及电厂灰渣泵、磨煤机的磨损件等等。另外还可铸成具有一定深度的表面层为白口,而心部为灰口组织的冷硬铸铁件。最常见的冷硬铸铁件有轧辊及矿车车轮等。

为了提高白口铸铁的韧性及耐磨性,常适量地加入一些合金元素如铬、钼、钒、硼和稀土等。

2. 灰铸铁

碳主要结晶成石墨并且呈片状形式存在于铸铁中,断口为暗灰色,是常见的铸铁件。灰铸铁的化学成分一般为:2.6% ~ 3.6% C, 1.2% ~ 3.0% Si, 0.4% ~ 1.2% Mn, $\leq 0.3\%$ P, $\leq 0.15\%$ S。

3. 麻口铸铁

具有灰口和白口的混合组织,断口呈白色交错。这种铸铁因为既不利于机械加工,又无特殊优异的使用性能,故一般应用得较少。

4. 可锻铸铁

可锻铸铁因有较高的塑性和韧性而得名,其实是不可锻的。可锻铸铁的生产

过程是:先铸成一定成分的白口铸件,然后经过适当的热处理(石墨化退火处理)使其中的渗碳体分解形成团絮状石墨。可锻铸铁除有较高的强度、塑性和韧性外,与球墨铸铁相比还具有质量稳定、处理铁水简便以及易于组织流水线生产等优点,尤其适于大量生产形状复杂的薄壁小件,因而应用非常广泛。

按热处理条件的不同,可锻铸铁可分为黑心铁素体可锻铸铁和珠光体可锻铸铁两类。前者经完全石墨化退火而得,退火后的组织为在铁素体基体上分布着团絮状石墨,其断口特征为中心呈暗红色,表面层由于有些脱碳而呈灰白色,故称黑心可锻铸铁;如果石墨化过程不完全,则退火后的组织为在珠光体基体上分布着团絮状石墨,称为珠光体可锻铸铁,断口呈灰色,但习惯上仍称它为黑心可锻铸铁。

铁素体可锻铸铁具有一定的强度和较高的韧性,多用于制造承受冲击和振动的零件,如汽车拖拉机的后桥外壳、转向机构、弹簧钢板支座、机床上的把手、低压阀门、管件、纺织机械和农机零件以及农具等。珠光体可锻铸铁的强度和硬度高,耐磨性好,常用来铸造曲轴、凸轮轴、连杆及齿轮等重要零件。

5. 球墨铸铁

球墨铸铁中的碳主要以球状石墨的形态存在于铸铁中。球墨铸铁的生产过程是:熔炼出一定化学成分的高温铁水,然后进行球化处理及孕育处理(加入球化剂及孕育剂)而得到球状石墨的铸铁。与其他铸造合金相比,球墨铸铁亦有类似于灰口铸铁的优点(如耐磨、减振、优良的切削加工性和铸造工艺性能等),还具有比普通灰铸铁高得多的强度、塑性和韧性。球墨铸铁已成功地用于铸造一些受力复杂,强度、韧性、耐磨性要求较高的零件,如柴油机、汽车及拖拉机的曲轴、凸轮轴、中压阀门、汽车及拖拉机的某些齿轮、压缩机的曲轴、连杆以及农机、农具等零件。

1.1.2 铸钢材料

铸钢是一种重要的金属结构材料,它具有良好的综合机械性能和物理化学性能。与铸铁比较,铸钢具有较高的强度、塑性、韧性和良好的焊接性。若铸钢中加入某些合金元素还可获得某些特殊性能,如耐磨、耐腐蚀、耐热、无磁等。因此,铸钢在现代机械制造业中应用很广,如轧钢、锻压、运输、发电、矿山、石油、化工等设备中,许多零件的毛坯都是铸钢件。铸钢的种类很多,按化学成分可分为碳素钢和合金钢两类,按用途可分为结构钢、工具钢、不锈钢、耐热钢、耐磨钢、磁钢等^[3]。

1. 铸造碳素钢的分类和一般特性

铸造碳素钢具有较好的综合机械性能和铸造性能,对原材料的要求不高,合金元素消耗少,成本低,熔炼和铸造工艺又易于掌握,因此在各工业部门应用很广。

铸造碳素钢中除铁以外,还有碳、硅、锰、磷、硫等元素,其中碳含量的多少对钢

的组织 and 性能影响最大,其他元素的含量在各种牌号的铸造碳素钢中基本不变,所以铸造碳素钢的分类是以含碳量为依据的,可分为低碳钢($<0.20\%C$)、中碳钢($0.20\% \sim 0.50\%C$)和高碳钢($>0.50\%C$)。

低碳钢的塑性和韧性较高,但强度较低。这类钢通常要经渗碳后进行淬火、回火处理,以提高强度和耐磨性,常用来制造凸轮等耐磨零件。由于其含碳量和含锰量较低,因而有较高的透磁性和相当低的功率损耗,故又常用于制造电动机座架、外壳等。低碳钢的铸造性能差,熔点高,钢液流动性差,易产生浇铸不足,形成疏松、气孔、非金属夹杂等缺陷,并且比较容易氧化。因此,一般低碳钢应用较少。

中碳钢的铸造性能较好,熔点较低,流动性较好,铸件中的气体和非金属夹杂物较少,抗热裂倾向的能力较强,易于成形。但随着含碳量增加,其导热性降低,将引起较大的铸造应力,易使铸件变形。中碳钢铸件都要经过热处理(退火、扩散退火、正火和回火等),以提高机械性能。中碳钢具有良好的强度、塑性和韧性等综合性能,它广泛用于要求承受一定载荷与冲击载荷的零件,如齿轮、连杆、机架、缸体等。

高碳钢具有较高的强度、硬度和耐磨性,但塑性较低,多用来制造冲击载荷不大的耐磨零件,如轧辊、模具等。高碳钢的铸造性能良好,但由于导热性差和较大的脆性,铸件有产生巨大应力而形成冷裂的危险。所以高碳钢铸件仅进行一般的退火处理,且加热和冷却时应缓慢进行。

2. 铸造低合金钢

为了改善某种性能而特意加入某些合金元素的钢称为合金钢,合金元素总量少于5%时称为低合金钢。其中用于机械零件和建筑工程结构的钢称为低合金结构钢,它是在碳素结构钢的基础上加入某些合金元素,其金相组织类似含碳量相同的碳素结构钢。

1.1.3 铸造铝合金、镁合金材料

1. 铸造铝合金

铸造铝合金的密度比铸铁和铸钢小,而比强度则较高,因此在承受同样载荷条件下采用铝合金铸件可以减轻结构的重量,故在航空工业及动力机械和运输机械制造中,铝合金铸件得到广泛的应用^[4,5]。

铝合金具有良好的表面光泽和在大气及淡水中的耐腐蚀性,故在民用器皿制造中用途广泛。纯铝在硝酸及醋酸等氧化性酸类介质中有良好的耐蚀性,因而铝铸件在化学工业中有一定的应用。纯铝及铝合金有良好的热导性能,故常用来制造动力机械上要求良好导热性能的零件,如内燃机的汽缸盖、活塞等以及化工生产中的热交换装置。

铝合金具有良好的铸造性能。由于熔点较低(纯铝熔点为 660°C ,铝合金的浇注温度一般在 740°C 左右),故可采用金属型铸造及压力铸造等方法,以提高铸件

的内在质量、尺寸精度、表面光洁度和生产效率。铝合金的凝固潜热大,相同重量的铝液凝固过程时间延续比铸钢和铸铁长得多,故流动性良好,有利于铸造薄壁和结构复杂的铸件。

铝合金按照加工方法可分为两大类,即铸造铝合金和压力加工铝合金。铸造铝合金又依主要加入的合金元素和性能特点分为五个系列,其特点分别如下:

Al-Si系(常称为硅铝系)合金:一般含Si量为4%~22%。Al-Si系合金具有优良的铸造性能,如流动性好,气密性好,收缩率小和热裂倾向小,经过变质和热处理后具有良好的力学性能、物理性能、耐蚀性能和工艺性能,是用途最广的铸造铝合金。

Al-Cu系合金:含Cu量为3%~11%,加入其他合金元素使室温力学性能和高温力学性能大幅度提高。如ZL205A合金在淬火加完全人工时效状态下的 σ_b 可达490MPa,是目前强度最高的铸造铝合金之一;ZL206和ZL208合金的耐热性能是最高的。Al-Cu系合金具有良好的切削加工和焊接性能,但铸造性能和耐蚀性能较差。这类合金在航空产品上应用较广,主要用作承受重大载荷的结构件和耐热零件。

Al-Mg系合金:含Mg量为4%~11%,具有较高的力学性能,非常优异的耐蚀性能,良好的切削加工性能,加工表面光亮美观,密度是现有铝合金中最小的。但熔炼和铸造工艺比较复杂,除用作耐蚀合金外,也用作高强度铝合金和装饰用合金。

Al-Zn系合金:锌在铝中的溶解度非常大,当Al中加入的Zn大于10%时能显著提高合金的强度,最大优点是不需热处理就能使合金强化。这类合金的缺点是耐蚀性能差,密度大,铸造时容易产生热裂,因而应用较少,主要用作压铸仪表零件等。

Al-Re(混合稀土)系合金:该系合金牌号不多,主要合金是ZL207,由于含Cu量很高,已归入Al-Cu系合金。ZL207合金的主要特点是高温强度高,热稳定性好,可用于制造350~400℃工作的零件,缺点是室温力学性能较差,特别是延伸率很低。

2. 铸造镁合金

现有工程金属中镁合金的密度(1.75~1.85g/cm³)最小,约为铝的64%、钢的23%,而其比强度和疲劳强度均比铸铝合金高。因此,采用镁合金铸件可以减轻机器结构的重量,从而提高效率、降低能耗、增大发动机功率和运输机的载重量和速度。

镁合金的比弹性模量与高强度铝合金、合金钢大致相同。铸件的截面刚度随其厚度的立方比增加,即截面厚度增至2倍时,刚度将增至8倍。因此镁合金可制造刚性好的整体构件。它除减轻重量外还可减少零件数目和大量的铆接、焊接和组合装配等工序。与弹性模量有关的另一特性是,铸造镁合金有高的振动阻尼容量,即高的减振性。

镁合金在受外力作用时容易产生较大的变形,这有利于避免过高的应力集中,

可使受力构件的应力分布更为均匀。在弹性范围内,当受冲击载荷时,镁合金所吸收的能量比铝合金大 50%。镁合金的这个特性与其弹性模量较低有关,即弹性形变功与弹性模量成反比。因此,镁合金适于铸造受猛烈碰撞的零件,如轮毂和传送带轮等。

镁合金具有优良的切削加工性能,其切削速度大大高于其他金属。镁合金另一个突出特点是不需要磨削和抛光,不使用切削液即可得到光洁的表面。

此外,镁合金铸件在受冲击及摩擦时不会起火花。

镁在潮湿空气及水(尤其海水)中的化学性能不稳定;与大多数无机酸的相互作用剧烈,但不与苛性碱溶液起作用;对硒酸、氟化物、氢氟酸作用稳定,能生成不溶性盐;在汽油、煤油、润滑油中也很稳定。镁合金在干燥空气中有良好的耐腐蚀性能,在普通工业气氛中的耐蚀能力接近于中碳钢,而在盐雾严重的海洋性气氛中则比铝合金低,但明显高于中碳钢。镁铸件在经过表面处理后能在大气条件下长期使用。近期发展并应用的高纯镁合金具有极低的铁、镍等杂质含量,所以有高的耐腐蚀性能。

由于镁在液态下剧烈氧化和燃烧,所以镁合金必须在熔剂覆盖下或保护气氛中熔炼。浇铸零件时,为了避免氧化燃烧以及与造型材料本身和造型材料中的水分相互作用,必须在型砂成分中添加阻化剂。常用的阻化剂有氟化物(氟硼酸铵、酸性氟化铵等)、硫磺、硼酸、菱镁矿、烷基磺酸钠等,在芯砂中加入的阻化剂通常为硫磺和硼酸。

镁合金铸件的固溶热处理也需要在二氧化硫、二氧化碳或六氟化硫等气体保护下进行。扩散和分解过程缓慢是镁固溶体的特点,所以镁合金在固溶处理和时效时需要保持较长的时间。同样原因,铸造镁合金的淬火一般只需要在空气或人工气流中进行。

镁合金在铸造工艺方面具有较大的适应性。除砂型铸造外,还可采用金属型铸造、压力铸造、壳型铸造、石膏型铸造、低压铸造以及冷凝树脂砂型铸造等几乎所有特种铸造工艺。铸件中细小油路通道的制作,可采用预先在铸型中放置特种玻璃管和金属丝编织套等,然后再从铸件中除去的方法;也可采用直接在铸件中埋设不锈钢管的方法。

由于上述主要特点,镁合金不仅已在航空航天工业中广泛采用,而且还大量用于制造汽车、摩托车、电子机械、纺织机械、电影机械、林业机械、采矿机械等以及某些日常生活用品。

铸造镁合金按合金系可分为以下三类:

Mg-Al 系合金:此类合金为标准类铸镁合金,由于它们性能优良,不含稀贵元素,熔炼工艺较易掌握,生产成本较低,故应用较普遍。其特点是:屈服极限较低;机械性能的壁厚效应较大;缩松较严重。

Mg-Zn-Zr 系合金:此类合金为高强度类铸镁合金,它们的优点是比标准类合