



高等教育“十二五”规划教材
国家级机械工程实验教学示范中心系列实验教材

机械工程 综合实训教程

Jixie Gongcheng
Zonghe Shixun Jiaocheng

◎主 编 李晓舟
◎副主编 孙拂晓 刘贵军



高等教育“十二五”规划教材

国家级机械工程实验教学示范中心系列实验教材

机械工程综合实训教程

主 编 李晓舟

副主编 孙拂晓 刘贵军

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是根据教育部颁布的“工程材料及机械制造基础”教学的基本要求,结合普通高校工程训练中心的建设要求及我校多年工程实践教学的经验编写的,全书共十六章,内容为铸造、锻压、焊接与切割、工程材料与热处理、切削加工基本知识、钳工、车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工、数控加工基本知识、数控车削加工、数控铣削加工、数控加工中心、特种加工和精密加工与超精密加工。

本书是高等工科学校机械类及近机类专业使用的教材,也可供工科高职院校和成人教育学校师生使用和参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械工程综合实训教程/李晓舟主编. —北京:北京理工大学出版社, 2012. 1

ISBN 978 - 7 - 5640 - 5410 - 6

I. ①机… II. ①李… III. ①机械工程 - 高等学校 - 教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 265762 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京泽宇印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 19

字 数 / 438 千字

版 次 / 2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

责任编辑 / 张慧峰

印 数 / 1 ~ 3000 册

责任校对 / 周瑞红

定 价 / 36.00 元

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换

本书根据教育部颁布的“工程材料及机械制造基础”工程实践教学的基本要求编写,近年来各高校工程训练教学上,从工程训练的内涵和工程训练教学内容上都有很大突破,工程训练是高等工科院校相关专业学生必修课程,是实践教学与理论教学相结合的教学环节,是培养学生良好的工程意识和提高学生工程实践能力的重要途径。本书在注重工程训练基础教学内容的基础上,拓宽了先进制造技术及精密制造技术的相关知识。

编写本教材的目的是帮助学生在进行工程训练时,正确地掌握工程材料的主要加工方法,了解毛坯和零件的加工工艺过程,指导实际操作,获得初步的操作技能。帮助学生巩固所学专业基础知识,增加感性知识和工程意识,为以后的学习和工作打下一定的实践基础。

本书内容包括:铸造、锻压、焊接与切割、工程材料与热处理、切削加工基本知识、钳工、车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工、数控加工基本知识、数控车削加工、数控铣削加工、数控加工中心、特种加工和精密加工与超精密加工等共十六章。每章附有思考题,便于学生自学、自测。

本书的特点:

1. 以大工程为背景,注重学生全面了解生产制造的基本过程和基本知识,培养学生分析问题和解决实际问题的能力,利于提高学生的工程素质和培养学生的创新能力。
2. 内容比较丰富,在保持机械工程训练完整的知识体系和教学内容的基础上,注重加强了数控技术、特种加工技术、精密加工与超精密加工技术等方面的知识内容。
3. 结合学校的特点,编写了精密加工与超精密加工内容,体现了精密机械的专业特色。
4. 教材内容的编写考虑机类、近机类和非机类工程实践教学的差异,在内容上进行了融合。
5. 本教材车工、铣工、刨工、磨工和数控机床等相关章节,均以目前各高校大多数工程训练中心所使用的设备为例进行叙述。
6. 全书名词术语和计量单位采用最新国家标准及其他有关标准。
7. 重点突出,简明扼要。能指导学生全面掌握和了解机械制造领域工程知识和技能。

本书由长春理工大学工程训练中心教师编写,编写的教师及分工为:李晓舟(第6章、第8章、第9章、第10章、第16章),孙拂晓(第1章、第2章、第3章、第4章、第5章),刘贵军(第11章、第12章、第13章、第14章、第15章),马日清(第7章),还有于开迪、韦庆梅、张志国、于垚、么淑杰、杨絮、纪思国等教师参与编写工作。

本书由李晓舟任主编,并负责全书统稿,孙拂晓、刘贵军任副主编。

在编写的过程中参考了大量有关文献，在此向作者和出版社表示衷心感谢，并把参考文献列于书后。

由于编者的水平和经验有限，书中难免出现这样或那样的缺点和不足，恳请同行和读者批评指正。

编 者

第1章 铸造	1
1.1 概述	1
1.2 砂型铸造	2
1.2.1 砂型铸造的生产工艺过程	2
1.2.2 型(芯)砂	3
1.2.3 模样与芯盒	4
1.2.4 造型方法	5
1.2.5 制芯	10
1.2.6 浇注系统、冒口和冷铁	14
1.2.7 合型	16
1.2.8 铸铁的熔炼及浇注	16
1.2.9 铸件的落砂、清理和缺陷分析	18
1.3 其他特种铸造方法	20
1.3.1 熔模铸造	20
1.3.2 金属型铸造	21
1.3.3 压力铸造	22
1.3.4 离心铸造	22
1.3.5 真空密封造型	23
1.3.6 实型铸造	24
复习思考题	24
第2章 锻压	26
2.1 概述	26
2.2 锻造生产过程	26
2.2.1 下料	27
2.2.2 加热	27
2.2.3 锻造	29
2.2.4 冷却	29
2.2.5 锻件的热处理	29
2.3 自由锻	30
2.3.1 工具与设备	30

2.3.2	基本工序与操作	31
2.3.3	锻件常见缺陷分析	35
2.4	模锻与胎膜锻	36
2.4.1	模锻	36
2.4.2	胎膜锻	36
2.5	板料冲压	37
2.5.1	冲压设备及冲模	37
2.5.2	冲压的基本工序	39
	复习思考题	41
第3章	焊接与热切割	42
3.1	概述	42
3.2	手工电弧焊	43
3.2.1	手工电弧焊的焊接过程	43
3.2.2	手工电弧焊设备及用具	43
3.2.3	手工电弧焊工艺	45
3.2.4	基本操作技术	47
3.3	气焊、气割	48
3.3.1	气焊设备	49
3.3.2	焊丝和焊剂	51
3.3.3	气焊工艺	51
3.3.4	气割	53
3.4	其他焊接与切割方法	54
3.4.1	气体保护焊	54
3.4.2	埋弧自动焊	56
3.4.3	钎焊	56
3.4.4	等离子弧焊接切割	57
3.4.5	电子束焊	58
3.4.6	激光焊接切割	59
3.5	焊接缺陷与检验	60
3.5.1	焊接缺陷	60
3.5.2	焊接检验	61
	复习思考题	62
第4章	工程材料及热处理	64
4.1	工程材料	64
4.1.1	工程材料概述	64
4.1.2	金属材料的基本性能	64
4.1.3	常用金属材料	66
4.1.4	非金属材料	69
4.2	钢的热处理	71

4.2.1 概述	71
4.2.2 钢的热处理工艺	71
4.2.3 其他热处理	73
4.2.4 热处理设备	73
4.2.5 热处理常见缺陷	74
复习思考题	75
第5章 切削加工基本知识	76
5.1 概述	76
5.1.1 切削加工的分类	76
5.1.2 切削运动	76
5.1.3 切削用量	77
5.2 机械加工零件的技术要求	78
5.2.1 加工精度	78
5.2.2 表面结构	80
5.3 刀具	81
5.3.1 刀具材料	81
5.3.2 刀具的几何形状	83
5.4 金属切削机床的分类与编号	86
5.5 常用量具及其使用方法	87
5.5.1 游标卡尺	88
5.5.2 千分尺	89
5.5.3 百分表	90
5.5.4 内径百分表	91
5.5.5 光滑极限量规	91
5.5.6 塞尺	92
5.5.7 游标万能角度尺	92
5.5.8 刀口形直尺	93
5.5.9 90°角尺	93
复习思考题	93
第6章 钳工	94
6.1 概述	94
6.1.1 工艺特点及应用范围	94
6.1.2 常用设备	94
6.2 划线	98
6.2.1 划线的目的	98
6.2.2 划线工具	98
6.2.3 划线方法	101
6.3 锯削	102
6.3.1 手锯削工具	102

6.3.2 锯削方法	102
6.3.3 锯削时应注意的事项	104
6.4 锉削	104
6.4.1 锉削工具	104
6.5 钻孔、扩孔和铰孔	107
6.5.1 钻孔	107
6.5.2 扩孔与铰孔	109
6.6 螺纹加工	110
6.6.1 攻螺纹	110
6.6.2 套螺纹	112
6.7 刮削和研磨	113
6.7.1 刮削	113
6.7.2 研磨	115
6.8 装配与拆卸	116
6.8.1 典型零件的装配	116
6.8.2 机器的拆卸	118
复习思考题	119
第7章 车削加工	120
7.1 概述	120
7.2 普通车床	121
7.2.1 卧式车床的组成	121
7.2.2 C6132 车床的传动系统	122
7.2.3 C6132 车床的调整及手柄的使用	124
7.3 车刀	125
7.4 工件装夹方法	126
7.4.1 三爪自定心卡盘	126
7.4.2 四爪单动卡盘	127
7.4.3 顶尖	127
7.4.4 中心架和跟刀架	128
7.4.5 心轴	129
7.4.6 花盘	129
7.5 车刀及车刀安装	130
7.5.1 车刀的种类	130
7.5.2 车刀的结构	130
7.5.3 车刀的切削角度	130
7.5.4 车刀的刃磨	131
7.5.5 车刀的安装	132
7.6 车床操作	132
7.6.1 刻度盘的原理和应用	132

7.6.2 车削步骤	133
7.6.3 粗车与精车	133
7.7 基本车削加工	134
7.7.1 车削外圆	134
7.7.2 车端面	135
7.7.3 孔加工	135
7.7.4 切槽和切断	136
7.7.5 车锥面	137
7.7.6 车回转成形面	138
7.7.7 车螺纹	139
7.7.8 滚花	141
7.8 典型零件的车削工艺	142
复习思考题	143
第8章 铣削加工	145
8.1 概述	145
8.2 铣床及其附件	146
8.2.1 铣床	146
8.2.2 铣床附件及工件安装	147
8.3 铣刀及其安装	151
8.3.1 带孔铣刀及其安装	151
8.3.2 带柄铣刀及其安装	152
8.4 铣削工作	153
8.4.1 铣平面	153
8.4.2 铣台阶	154
8.4.3 铣斜面	154
8.4.4 铣沟槽	154
8.4.5 铣成形面	156
8.4.6 铣螺旋槽	156
8.4.7 镗孔	157
8.4.8 齿形加工	157
复习思考题	160
第9章 刨削加工	161
9.1 概述	161
9.2 牛头刨床	162
9.2.1 牛头刨床的型号	162
9.2.2 牛头刨床的组成部分	162
9.2.3 牛头刨床的传动机构	163
9.2.4 牛头刨床的调整	164
9.3 刨刀及其安装	165

9.3.1 刨刀的种类	165
9.3.2 刨刀的结构特点	165
9.3.3 刨刀的安装	165
9.4 工件的安装	166
9.4.1 平口钳安装	166
9.4.2 压板螺栓安装	166
9.5 刨床工作	167
9.5.1 刨水平面	167
9.5.2 刨垂直面和斜面	167
9.5.3 刨沟槽	167
9.5.4 刨成形面	168
9.6 刨削类机床	168
9.6.1 龙门刨床	169
9.6.2 插床	169
复习思考题	170
第10章 磨削加工	171
10.1 概述	171
10.1.1 磨削运动与磨削用量	171
10.1.2 磨削加工的特点及应用范围	172
10.2 砂轮	173
10.2.1 砂轮的特性	173
10.2.2 砂轮的检查、安装、平衡和修整	174
10.3 外圆磨床及其工作	174
10.3.1 外圆磨床的型号及组成	174
10.3.2 外圆磨床的液压传动原理	175
10.3.3 外圆磨削	176
10.4 内圆磨床及其工作	177
10.4.1 内圆磨床型号及组成	177
10.4.2 内圆磨削	178
10.5 平面磨床及其工作	179
10.5.1 平面磨床的型号及组成	179
10.5.2 平面磨削	179
10.6 无心外圆磨床	180
10.6.1 磨削原理和磨削方法	180
10.6.2 无心外圆磨床的布局、特点及适用范围	182
复习思考题	182
第11章 数控加工基本知识	184
11.1 数控加工概述	184
11.1.1 数控机床简介	184

11.1.2 数控机床的组成及工作原理	184
11.1.3 数控机床的分类及主要技术参数	185
11.1.4 数控加工的特点	189
11.2 数控加工编程	189
11.2.1 编程	189
11.2.2 机床坐标轴	190
11.2.3 机床坐标系	190
11.2.4 工件坐标系	191
11.2.5 绝对值编程和增量值编程	192
11.2.6 程序结构	192
11.2.7 指令字格式	192
11.2.8 程序段的格式	193
复习思考题	194
第12章 数控车削加工	195
12.1 数控车床简介	195
12.1.1 数控车床的基本结构及工作原理	195
12.1.2 数控车床的特点	196
12.1.3 数控车床的分类	196
12.1.4 数控车床的加工对象	197
12.2 数控车床加工工艺制定方法	198
12.3 数控车床编程	198
12.3.1 数控车床编程的特点	198
12.3.2 数控车床坐标系的设定	199
12.3.3 数控车床编程指令简介	199
12.3.4 编程举例	202
12.4 数控车床的基本操作	205
12.4.1 机床数控装置	205
12.4.2 数控机床的手动操作	207
12.4.3 程序编辑	209
12.4.4 MDI 运行操作	210
12.5 数据设置	211
12.5.1 坐标系数设置	212
12.5.2 刀库数据和刀具数据设置	212
复习思考题	213
第13章 数控铣削加工	214
13.1 数控铣床简介	214
13.1.1 数控铣床的基本结构及工作原理	214
13.1.2 数控铣床加工特点	215
13.1.3 数控铣床的分类	216

13.1.4 数控铣床的加工范围	216
13.2 数控铣床加工工艺制定方法	217
13.3 数控铣床编程	218
13.3.1 数控铣床编程的特点	218
13.3.2 数控铣床坐标系的设定	218
13.3.3 数控铣床编程指令简介	219
13.3.4 编程举例	228
13.4 数控铣床的基本操作	230
13.4.1 操作装置	230
13.4.2 手动操作	234
13.4.3 手动数据输入 (MDI) 运行	236
13.4.4 显示加工	237
13.4.5 其他操作	241
复习思考题	241
第14章 数控加工中心	242
14.1 加工中心简介	242
14.1.1 加工中心的分类	242
14.1.2 数控加工中心的结构特点	243
14.1.3 数控加工中心的加工范围	244
14.2 数控加工中心编程	246
14.2.1 数控加工中心编程的特点	246
14.2.2 数控加工中心坐标系的设定	246
14.2.3 数控加工中心编程指令	247
14.2.4 编程举例	249
14.3 数控加工中心操作	255
复习思考题	255
第15章 特种加工	257
15.1 概述	257
15.2 电火花加工	258
15.2.1 电火花加工的基本原理	258
15.2.2 电火花成形加工的基本条件	259
15.2.3 电火花成形机理简介	259
15.2.4 电火花成形加工的精度和表面质量	260
15.2.5 电火花成形加工的工艺特点和应用	260
15.3 数控电火花线切割加工	260
15.4 激光加工	261
15.5 超声波加工	263
15.6 电解加工	264
15.7 电子束加工	265

15.8 离子束加工	266
15.9 水喷射加工	267
复习思考题	268
第16章 精密加工和超精密加工	269
16.1 概述	269
16.1.1 精密加工和超精密加工的概念	269
16.1.2 精密加工和超精密加工的工艺特点	269
16.1.3 精密加工和超精密加工的方法	270
16.2 精密超精密切削加工	270
16.2.1 金刚石刀具超精密切削的机理	271
16.2.2 影响超精密切削的因素	271
16.2.3 精密、超精密切削加工的应用	274
16.3 精密磨削加工	275
16.3.1 超精砂轮磨削	275
16.3.2 砂带磨削	276
16.4 珩磨、超精研、研磨和超精密磨料加工	279
16.4.1 珩磨	279
16.4.2 超精研	279
16.4.3 研磨	282
16.4.4 超精密磨料加工	285
复习思考题	286
参考文献	288

第 1 章

铸 造

1.1 概述

将液态金属浇入到与零件形状尺寸相适应的铸型空腔中，待其冷却凝固后获得一定形状铸件的工艺方法称为铸造。一般情况下，铸件精度不高，通常还需要通过切削加工才能使用，有时铸件也可以作为零件直接使用。

铸造方法有砂型铸造、金属型铸造和熔模铸造等，其中砂型铸造应用最为广泛。图 1.1 所示为砂型铸造生产工艺过程。

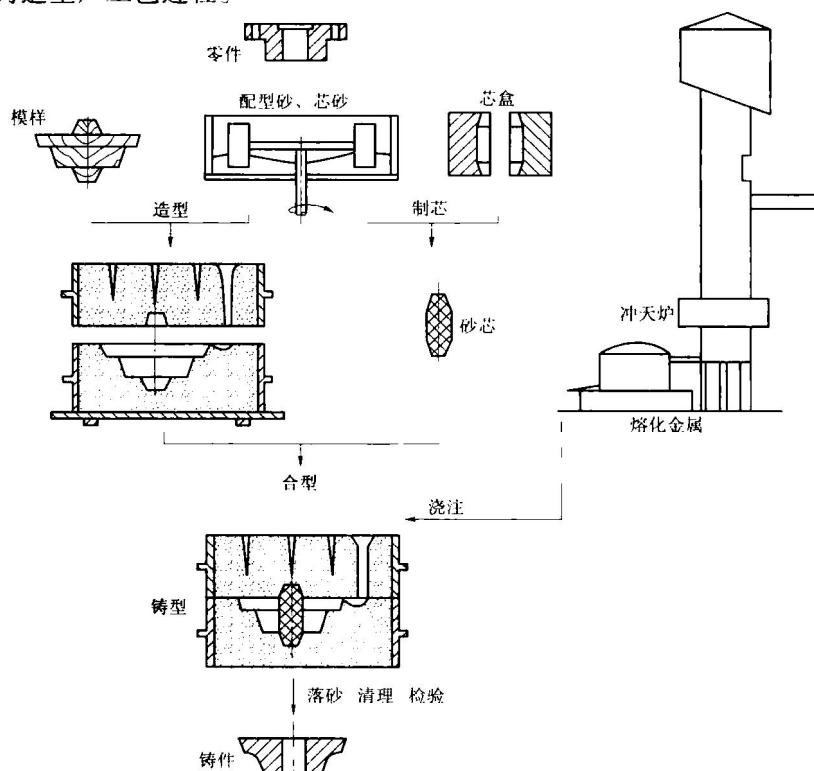


图 1.1 砂型铸造生产工艺过程

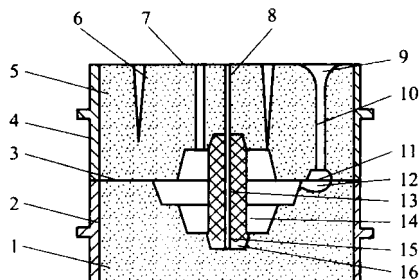


图 1.2 砂型装配图

- 1—下砂型；2—下砂箱；3—分型面；
4—上砂箱；5—上砂型；6—排气道；
7—出气孔；8—型芯排气道；9—浇口杯；
10—直浇道；11—横浇道；12—内浇道；
13—砂型；14—型腔；15—芯头；16—芯座

铸造的主要优点是可以制造形状复杂、特别是具有复杂内腔的毛坯或零件，与其他金属成形方法相比较，生产成本较低，适应性较广。

用于生产铸件的金属统称为铸造合金。常用的铸造合金有铸铁、铸钢和铸造非铁金属等，其中，铸铁，特别是灰铸铁应用最为普遍。

砂型铸造的工序主要有制造模样和芯盒、配制型砂和芯砂、造型和制芯、合型、融化金属、浇注、落砂以及铸件的清理和检验。

用型砂制成的铸型称为砂型。砂型由上型、下型、砂芯、型腔和浇注系统等几部分组成，两个砂型之间的接合面称为分型面，如图 1.2 所示。铸型中形成铸件的空腔称为型腔。砂芯又称为芯或芯子，主要用来形成铸件的内腔，砂芯放于型砂芯座中的部分为芯头，液态金属通过浇注系统流入并充满型腔，型腔内气体从出气孔等处排出。在批量生产时，上、下砂箱的定位通常用定位销，在单件、小批量生产中常用泥号定位。

1.2 砂型铸造

用砂型紧实成形的铸造方法，称为砂型铸造。在铸造生产中，砂型铸造约占 80%。砂型铸造主要用于铸造铸铁件、铸钢件。

1.2.1 砂型铸造的生产工艺过程

砂型铸造的生产工艺过程主要有制备铸型、熔炼金属、浇注、铸件的清理等四个部分，每个过程又是由许多工艺过程组成，如准备必要的材料，制备必要的铸型及型芯，熔炼浇注合金等。图 1.3 所示的是套筒铸件的生产过程。首先分别配制型砂和型芯砂，并用相应工艺装备（模样、芯盒等）造出砂型和砂芯，然后合为一个整体铸型，将熔融的金属浇注入铸型内，冷却凝固后取出铸件。

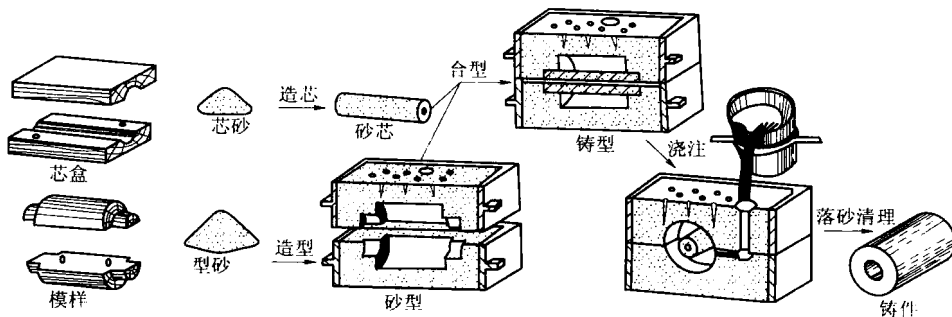


图 1.3 套筒铸件的铸造工艺过程

1.2.2 型(芯)砂

砂型是由型砂制成,型砂的质量直接影响铸件的质量,型砂质量不好会使铸件产生气孔、砂眼、粘砂、夹砂等缺陷,这些缺陷造成的废品率约占铸件总废品的50%以上。因此,必须合理地选用和配制型(芯)砂。

1. 型(芯)砂应具备的主要性能

(1) 强度。型砂抵抗外力破坏的能力称为强度。足够的强度可保证铸型在铸造过程中不破损、塌落和胀大。但强度太高会使铸型过硬,透气性、退让性和落砂性很差。

(2) 透气性。型砂孔隙透过气体的能力称为透气性。当高温金属液浇入铸型时,型内会产生大量气体(包括水分汽化为高温过热蒸汽和原有空气受热膨胀),这些气体必须通过铸型排出去。如果型砂透气性太低,气体留在型内,会使铸件形成气孔和浇不到等缺陷。但透气性太高会使型砂疏松,铸件易出现表面粗糙和机械粘砂的缺陷。

(3) 耐火性。指型砂经受高温热作用的能力。耐火性主要取决于砂中 SiO_2 的含量(熔点 1713°C), SiO_2 含量越多,型砂的耐火性越高。型砂的耐火性好,铸件不易产生粘砂缺陷。

(4) 退让性。铸件凝固和冷却过程中产生收缩时,型砂能被压缩退让的性能称为退让性。型砂退让性不足,会使铸件在收缩受到阻碍时,产生内应力、变形和裂纹等缺陷。对小铸件砂型,不要舂太紧;对大砂型,可在型(芯)砂中加入锯末、焦炭粒等材料增加退让性。

(5) 溃散性。指型砂浇注后易溃散的性能。溃散性好,型砂容易从铸件上清除,可以节省落砂和清理的劳动量。

除上述性能外,型砂还应具有流动性和可塑性等工艺性能。

2. 型(芯)砂的组成

型(芯)砂由原砂,黏结剂,水和附加物按一定比例混制而成。

原砂一般采用天然砂。若砂中石英(SiO_2)含量高,杂质少,则耐火性好;若砂粒粗,粒度均匀,则透气性好。

黏结剂可提高型(芯)砂的可塑性和强度。黏结剂主要有普通黏土、膨润土、水玻璃、矿物油、合脂和树脂等。其中,普通黏土及膨润土资源丰富,价格低廉,有一定的黏结强度,一般多用来制作型砂。其他几种黏结剂价格较贵,主要用于生产性能要求较高的芯砂。

型砂中常加入的附加物有煤粉木屑等。煤粉在高温熔融金属作用下燃烧形成气膜,隔离熔融金属与铸型型腔直接作用,使铸件表面光洁,防止铸件粘砂;加入木屑能改善型砂的透气性和退让性。

黏土中的水分对型(芯)砂的性能和铸件的质量影响很大。水分少,型(芯)砂干而脆,不利于造型起模;水分多,型(芯)砂强度低,易造成黏模,给造型操作带来困难。当黏土与水分质量比为3:1时,型砂可获得最大强度值。

3. 型(芯)砂的制备

型芯在浇注后将被高温金属液包围,故通常要求芯砂应具有比型砂更好的综合性能。一般来说,型砂与芯砂应选用不同材料按不同的比例配制。

在铸造生产中,为节省型砂,对与铸件接触的面砂进行专门配制,以使其具有较高的强度和耐火性;而对不与铸件接触,仅作填料用的背砂,一般用旧砂;但在大批量生产时,为了提高生产效率和简化操作,往往不分面砂和背砂,只用一种单一砂。