

交通中等专业学校统编教材

Jixie Zhizao Jichu

机械制造基础

(汽车运用工程专业用)

富成科 主编

彭运钧 主审

人民交通出版社

前 言

本书是根据 1996 年交通部教育司颁布的交通中等专业学校汽车运用工程专业“机械制造基础教学大纲”编写的,可作为汽车运用工程专业的教材,也可作为筑路机械等相近专业的参考教材。

本课程的课堂教学是在教学实习基础上进行的。因此,在编写时,本书与“机械制造基础实习教材”作了必要的分工,属于熟悉认识工具、设备,了解具体操作工艺过程等适宜在生产现场学习的知识,本书在叙述时略去或只作简要介绍。

本书编写的主导思想是:系统讲解砂型铸造、自由锻、手工电弧焊,在中小型机械修造企业常见的金属切削加工方法(如车、铣、刨、磨等)以及机械加工工艺过程基础知识,简介其它金属加工方法的工艺特点及应用。培养学生的毛坯选择能力、零件结构工艺性分析能力、单件小批生产中简单零件加工工艺过程设计能力和对一般常用零件加工工艺路线的分析能力以适应现代汽车维修工程的需求。

本书由河北省交通学校富成科主编,湖南省交通学校彭运钧主审。参加本书编写的有河北省交通学校富成科(绪论、第一、七章)、山西省交通学校李云聪(第二章)、南京市交通学校赵家华(第三、四章)、山东省交通学校陈北强(第五、六章)。

本书责任编委由交通中等专业学校汽车学科委员会委员南京市交通学校张志伟承担。

在本书的审定过程中,王之伟和陈濂镗两位老先生仔细推敲,提出了不少建设性意见,在此表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中错误在所难免,希望读者批评指正。

编 者
1998 年 2 月 15 日

内 容 提 要

本书主要包括:绪论,铸造生产基础,压力加工基础,焊接生产基础,切削加工基础知识,金属切削方法的工艺特点,机械加工工艺过程基础知识和典型零件加工工艺过程等。

本书可供交通中等专业学校汽车运用工程专业的师生学习,也可供气车制造、维修人员工作参考。

交通中等专业学校统编教材

机械制造基础

(汽车运用工程专业用)

富成科 主编

彭运钧 主审

插图设计: 版式设计:崔凤莲 责任校对:尹 静

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本: 印张: 插页: 字数: 千

199 年 月 第 版

199 年 月 第 版 第 次印刷

印数: 册 定价: 元

ISBN 7-114- -

目 录

绪论.....	1
第一章 铸造生产基础.....	5
第一节 砂型铸造的工艺特点.....	5
第二节 合金的铸造性能.....	8
第三节 铸件的常见缺陷	14
第四节 砂型铸造工艺设计基础	16
第五节 铸件的结构工艺性	21
第六节 特种铸造	23
复习题	25
附表(1-1 ~ 1-14)	27
第二章 压力加工基础	36
第一节 概述	36
第二节 金属压力加工基本理论	37
第三节 自由锻	40
第四节 其它常用压力加工方法简介	47
复习题	49
附表(2-1 ~ 2-6)	50
第三章 焊接生产基础	51
第一节 概述	51
第二节 手工电弧焊	52
第三节 其它常用焊接方法简介	59
第四节 常用金属材料的焊接	61
第五节 焊接结构设计	65
第六节 常见焊接缺陷及焊接质量检验	70
复习题	72
附表(3-1 ~ 3-2)	74
第四章 切削加工基础知识	76
第一节 金属切削加工概述	76
第二节 刀具材料与刀具结构	79
第三节 金属切削过程的物理现象	81
第四节 常用金属材料的切削加工性	85
第五节 车刀几何角度和切削用量的选择	86
第六节 金属切削机床分类及型号编制方法	91
复习题	93

第五章 金属切削方法的工艺特点	95
第一节 工件的安装与夹具	95
第二节 车削的工艺特点与应用	98
第三节 钻削的工艺特点与应用	101
第四节 镗削的工艺特点与应用	104
第五节 刨削的工艺特点与应用	106
第六节 铣削的工艺特点与应用	108
第七节 磨削的工艺特点及应用	111
第八节 光整加工简介	115
复习题	116
附表(5-1 ~ 5-2)	117
第六章 机械加工工艺基础知识	119
第一节 工艺过程基本概念	119
第二节 典型表面的加工	121
第三节 零件结构工艺性	124
第四节 零件加工工艺规程的拟定	126
复习题	130
第七章 典型零件加工工艺过程	132
第一节 轴类零件	132
第二节 盘套类零件	136
第三节 零件修复机械加工工艺特点	142
复习题	142
附表 7-1	144
参考文献	145

绪 论

一、机械制造生产过程的概念

汽车、拖拉机、机床等常用机器,通常包含着机械、电气、液压、控制等系统,而机器的主体仍然是机械系统。机械系统由一些具有某种运动方式转换或动力传递功能的机构组成,每个机构又由若干个机械零件组成。由于除机械系统以外的其它系统(如电气系统、控制系统、液压系统等)所需的元器件以及制造机械零件的原材料(主要是各种金属材料的铸锭或轧材)都可以从其它工业部门通过市场得到可靠的供给。所以,现代机械制造的主要任务是制造机械零件。机械制造生产过程通常是:先用铸造、锻造或焊接等工艺将原材料制成毛坯,再用车、铣、刨、磨、钻等方法进行切削加工制得零件。有时也可以用铸造、压力加工、焊接等工艺直接生产零件。此外,为了满足设计上要求的某些性能或改善切削加工工艺性能常常要在零件加工过程中安排必要的热处理工序。将制成的零件、外购元器件经装配、调试后制造出机器,图 0-1 概括地表示出机械制造生产过程。

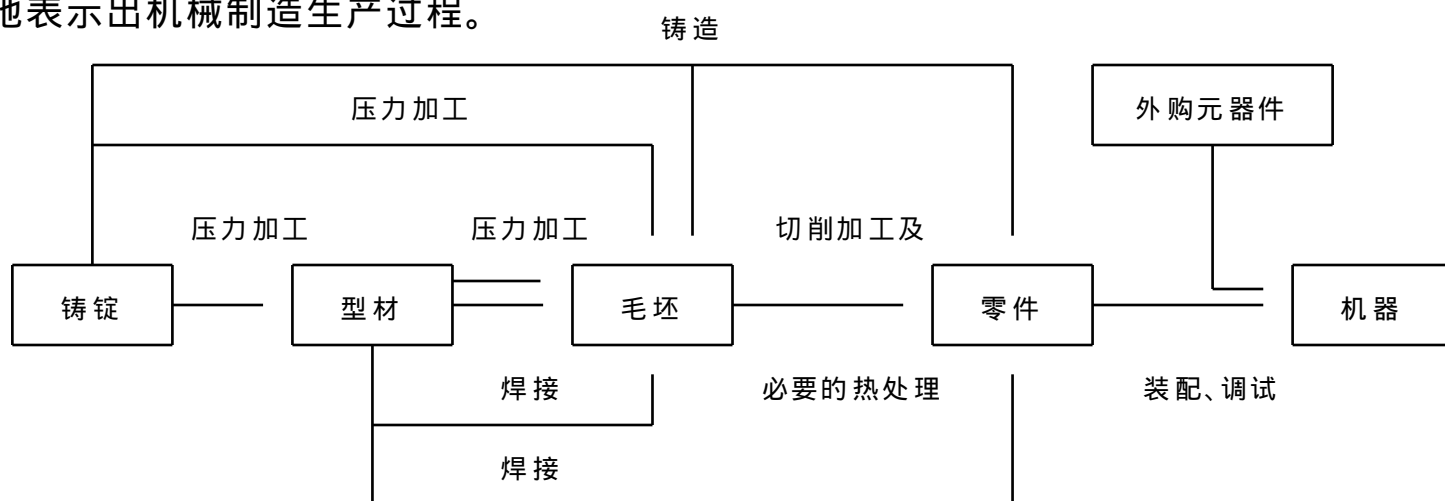


图 0-1 机器制造生产过程

由图 0-1 可以看出,在机器的生产过程中,最主要的工作是机械零件的制造过程。因为每一种零件的结构、功用和技术经济要求各不相同,所以机械制造生产过程也是多种多样、千变万化的。然而机械制造生产过程使用的基本金属加工方法却是有限的几种,不外乎铸造、压力加工、焊接、常见的金属切削加工方法、常见的热处理工艺等。因此,我们可以利用有限的时间学习“机械制造基础”这门课程,培养合理地运用各种金属加工方法解决零件加工过程中遇到的各种问题的能力。

二、我国在机械制造方面的发展与成就

机械制造业是整个国民经济的重要组成部分,担负着为工业、农业、科学研究和国防建设提供技术装备的重要任务。机械制造业生产的机器设备构成了劳动资料中最基本、最主要的部分——生产工具,是社会生产力发展水平的客观标志。纵观世界近、现代史,从 18 世纪 80 年代蒸汽机的广泛使用,19 世纪中叶发电机和电动机的出现,直至 20 世纪 40 年代以来原子能设

备和电子计算机的发明和广泛应用,都引发了意义深远的生产技术革命,把人类社会不断推向新的经济时代。

中华民族是拥有 5000 年文明史的优秀民族,我国劳动人民在机械制造工艺方面有卓越的贡献。1939 年在河南安阳武官村出土的商殷祭器司母戊大方鼎,其花纹精巧,造型精美,重达 875kg。这说明远在商代(公元前 1562 ~ 1066 年),我国就有了高度发达的冶铸青铜技术。

在春秋时期,我国已开始使用铸铁农具,比欧洲国家早了 1800 多年。

战国时代,我国已经有了很高明的制剑术,说明那时我国已经掌握了锻造和热处理技术。

东汉(公元 25 ~ 220 年)我国已经能制造出相当精致的人字齿轮。

唐朝(公元 618 ~ 907 年)时,我国劳动人民已经开始应用锡焊和银焊。欧洲国家直到 17 世纪才出现了这种钎焊方法。

明朝(1368 ~ 1644 年)时,我国已经具有多种简易切削加工设备。

1688 年,我国曾经应用直径近两丈的嵌齿铣刀加工天文仪器上的铜环。

明朝宋应星 1567 年清顺治初年著的《天工开物》一书,阐述了铸造、锻造、淬火等各种金属加工方法,是世界上有关机械加工的最早的著作之一。

以上史实足以说明:直到 17 世纪中叶我国在铸锻技术和机械制造工艺方面一直处于领先地位。但是,封建制度的长期统治,严重地阻碍了我国生产力的发展,机械制造业在一个很长的历史时期内,发展缓慢。到 1949 年时,我国除了生产一些简单的农具外,只能仿制一些简易机床之类的产品,机械制造业处于非常落后的状态。

解放以后,我国的机械制造业得到了蓬勃发展,拥有了汽车、拖拉机、农机、造船、航空、机床、精密仪器仪表等现代工业,为工农业各部门及国防建设提供了 80% 以上的必需技术装备。现在,传统的机械制造工艺、机械产品正经历着以电子计算机技术为核心的智能化、数控化、高柔性化的变革。

当前,国内外机械制造技术发展很快,最引人注目的是:精密制造技术,已能加工 $0.1\ \mu\text{m}$ ~ $0.001\ \mu\text{m}$ 级的精密零件;采用先进工艺和高效专用设备,使工艺专业化,日本铸造专业化工厂生产的铸件已占全国产量的 95%;机械制造技术日益智能化、柔性化。这为提高多品种、小批量生产的经济效益和自动化水平创造良好的条件。

三、本课程的性质、任务、主要内容和教学基本要求

“机械制造基础”是一门研究机械制造工艺的综合性技术基础课。

本课程的任务是:讲授制造机械零件的常用加工方法的基本理论和工艺基本知识,为学习后继课程和从事专业技术工作奠定必要的工艺基础。

本课程的主要内容包括:铸造生产基础、金属压力加工、金属焊接、金属切削加工基础知识、常用金属切削加工方法和机械加工工艺基础等。

本课程的教学基本要求:

1. 掌握毛坯选择方法、掌握零件及毛坯的结构工艺性。
2. 了解常用金属加工工艺的基本理论。
3. 了解常用金属加工工艺的特点及应用范围
4. 掌握制定简单轴类、盘套类零件机械加工工艺过程的方法。

四、本课程在汽车运用工程专业中的重要性

汽车运用工程专业设置的课程中,有许多技术基础课和专业课与“机械制造基础”有较强的相关性,这就要求学生通过先修机械制造基础课,掌握必要的工艺基础知识,为后续课程的学习奠定基础。例如:“机械原理与机械零件”课及其课程设计,要求学生有一定的机械制造工艺基础知识,尤其应很好地掌握毛坯及零件的结构工艺性等概念。再如:“汽车维修”课,是本专业最重要的专业课之一,该课程的教学质量在很大程度上决定了毕业生的专业技术工作能力,因此这门课程历来为广大师生所重视。但是“汽车维修”课及其教学实习中接触的大多数零件、总成维修工艺所依据的基本加工方法和实际操作技能主要是通过机械制造基础课及钳工实习学到的。离开了“机械制造基础”课堂教学以及钳工、机热加工实习为学生奠定的工艺基础,“汽车维修”课及其教学实习就无法进行。

汽车运用工程技术人员在专业技术工作中,常常遇到汽车零部件技术状况的检验及失效原因分析、确定失效零件的处理方案(配制零件、修复旧件、购新更换)、旧件修复、制造配件等工作。解决这些问题不仅需要专业知识,更需要机械制造工艺方面的知识。上述诸类技术问题上,旧件修复、配制零件两项工作对机械制造工艺知识的依赖是十分明显的,此不赘叙。现仅就确定失效零件处理方案问题分析如下:对于失效零件,通常先假定采用旧件修复或配制该零件的方案;其次分析零件的选材,草拟加工工艺路线;然后再根据本厂设备情况、机械加工能力等分析旧件修复或配制新件的技术可能性和经济合理性;最后据此判定旧件修复、配制该零件和更换新件哪种方案更合理。用这种分析方法可以很好地解释现在汽车维修作业中诸如:汽车板簧、缸盖螺栓、后桥主减速齿轮等许多零件在中、小修理厂采用更换新件方案的合理性。考察以上分析过程不难看出,机械制造工艺知识所起的重要作用。

在汽车维修作业过程中,为了改善劳动条件,提高保修质量和劳动效率,经常需要使用一些汽车维修机械设备。这些维修机工具和检验校正设备大多具有很强的专用性,如果由专业的维修机械设备厂来制造,技术经济效益不佳,所以这类设备通常是由使用厂家根据维修作业需要,适时地自行开发研制。开发研制的方式通常是:根据作业要求及有关数据资料运用专业知识等提出设计任务书,规定设备的功能及性能指标,而后进行设计、制造。与一般现代机器相同,在大多数汽车维修设备的各个系统中,机械系统仍是主体,因此机械系统的设计、制造是整个研制工作的中心内容。显而易见,主持该项研制工作的汽运工程专业技术人员应该有比较扎实的机械制造工艺知识基础。

总之,《机械制造基础》不仅为相关的技术基础课和专业课提供必要的机械制造工艺基础知识,而且为学生将来从事专业技术工作打下了必要的工艺基础,是汽车运用工程专业重要的技术基础课。

五、本课程的特点和学习方法

“技术是物化的科学,技术表现为生产工具、工艺流程和人的操作技能。”按这一辩证唯物主义观点,各种金属加工技术对生产实践的指导、推动作用必然要通过各种对应的金属加工设备、工具、人的操作技能来实现,例如:车削加工方法表现为车床和车工操作技能;铣削加工方法表现为铣床和铣工操作技能等。

由此可以推知,以各种常用金属加工方法为主要内容的机械制造基础基础课有很强的实践性,其教学活动必须建立在学生对各金属加工设备、工具、机械制造生产过程有足够感性认

识的基础上。鉴于此,为保证本课程教学的顺利进行,在理论课程讲授前,应先进行热加工实习。学生通过学习,熟悉常用金属加工方法、设备、工具及简单零件的生产过程,掌握主要加工方法的基本操作技能。

本课程一方面为了满足专业教学要求,要讲解各种常用金属的冷、热加工方法,涉及众多的学科领域;另一方面,要坚持基础课教学内容以满足专业需要为度的原则,不能突破规定的课时数。这就产生了本课程不同于其它基础课的另一个特点:课程涉及的知识面广,但逻辑推理不够严密,课程中的有些内容难以和学生已经掌握的基础理论知识建立起联结点。因此,在学习本课程时,要对从前业已习惯的学习方法作必要的调整,即不能过分地追求本课程知识体系的完整严密性,而要着眼于专业需要及常用加工方法的合理应用,适当记忆一些名词、概念、经验公式、经验总结和由其它学科推理或实验验证的理论知识,熟悉各种常用金属加工方法的工艺特点和应用范围,建立起集众多学科研究成果的机械制造工艺知识体系,进而在此基础上培养分析和解决机械制造工程方面问题的能力。

第一章 铸造生产基础

铸造是制造零件毛坯的一种金属液态成型方法。铸造过程是将金属熔炼成液态金属,然后浇入与零件形状相适应的铸型型腔中,待其凝固冷却后获得毛坯或零件。用这种方法制成的毛坯或零件称为铸件。现代机械制造生产中使用的铸造方法很多,通常可分为砂型铸造和特种铸造两类。特种铸造又由于铸件形成条件的不同而分为熔模铸造、金属型铸造、压力铸造和离心铸造等。

铸型是根据零件的形状用造型材料制成的。造型材料可以是型砂,也可以是金属,用型砂作造型材料的铸造方法称为砂型铸造。

用于铸造的金属材料称为铸造合金,常用的铸造合金有铸铁、铸钢、铸造用有色金属,其中尤其以铸铁应用最为广泛。

第一节 砂型铸造的工艺特点

一、砂型铸造生产过程

砂型铸造生产工序主要由混砂、造型、制芯、合箱、熔化、浇注和清理等组成。砂型铸造的生产过程如图 1-1 所示。

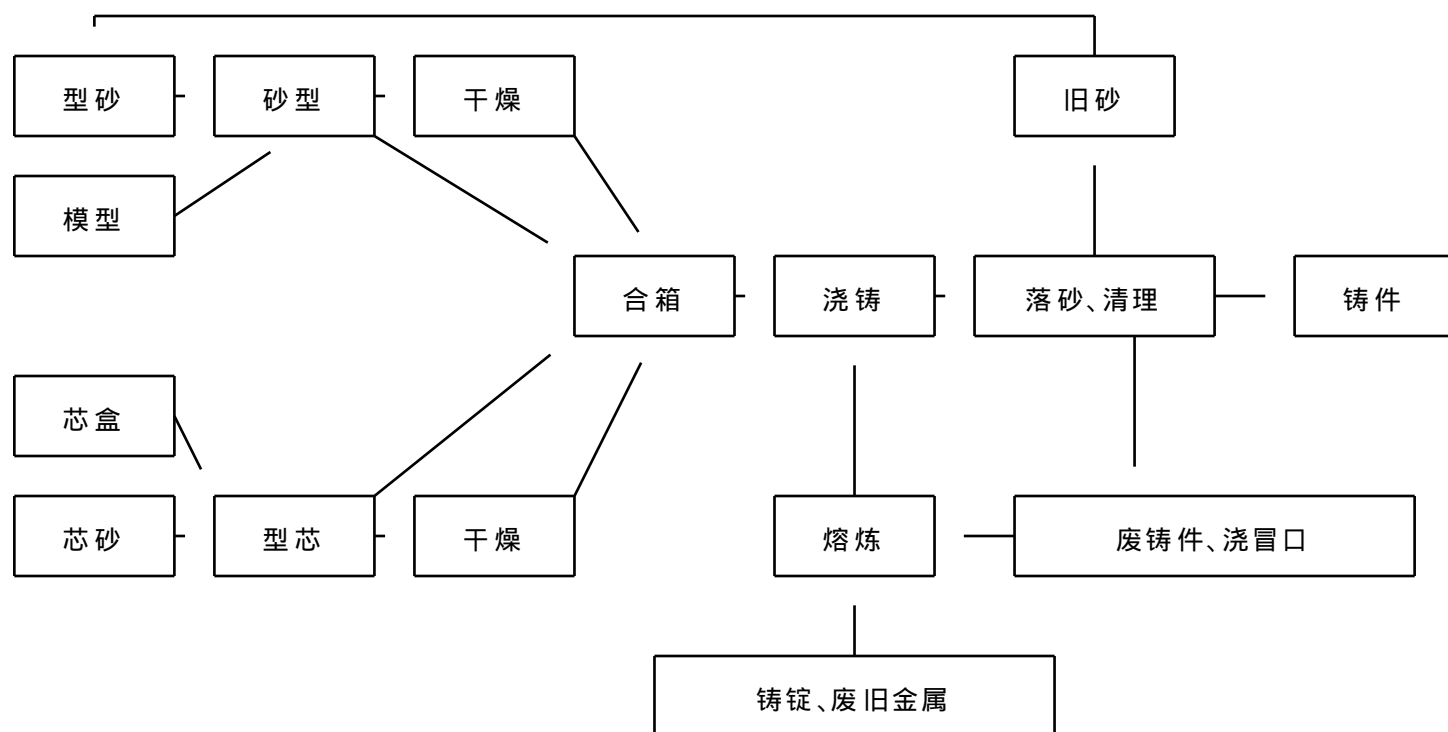


图 1-1 砂型铸造生产过程

二、铸型的组成

砂型一般由上砂型、下砂型、砂芯及浇注系统等部分组成,如图 1-2 所示。上下砂箱通常用

定位销定位以防错箱。砂型的主要作用是形成铸件的外廓,而砂芯则形成铸件的内腔。

三、造型材料

造型材料主要包括型砂、芯砂、及涂料等。它对铸件的质量有很大影响,生产 1t 铸件大致需要 2t ~ 10t 造型材料。因此,要合理的选用和配制造型材料。

1. 型(芯)砂应具备的主要性能

强度 砂型在外力作用下而不易破坏的能力。强度不足时会造成塌箱、砂眼等铸件缺陷。

图 1-2 铸型的组成

透气性 型砂由于本身各砂粒之间存在间隙而能被气体通过的能力。液态合金作用于铸型会产生大量气体,若型砂透气性不良,部分气体就会留存于金属内而形成气孔。

耐火性 型砂在高温液态合金作用下不软化、不熔化的性能。型砂的耐火性不足会产生粘砂缺陷。

退让性 随着铸件的冷却收缩,砂型和砂芯的体积可以被压缩的性能。退让性差时,铸件收缩受阻,会引起铸造应力、变形甚至开裂。

由于砂芯多置于铸型型腔内部,浇注后,被液态合金包围,对芯砂的性能要求更高。

2. 常用造型材料

砂型铸造使用的造型材料多种多样,以下简要介绍应用广泛的粘土砂和油砂。

1) 粘土砂 粘土砂由自然砂、粘土、水、煤粉等物质按一定比例混合而成,主要用作型砂。

粘土砂应用范围很广,既能适应铸钢、铸铁、铜合金及铝合金等的铸造,又不受铸件大小、重量、尺寸和生产批量的限制;既适于手工造型又适于机器造型,应用最广。

按砂型是否烘干,粘土砂砂型通常被分为湿型和干型两类。湿型主要用于中小铸铁件,干型主要用于大、中型铸件。

2) 油砂 油砂由自然砂和植物油(桐油、亚麻油等)混合而成,合箱前要经烘干处理以提高砂芯的强度、降低它的发气性。由于油砂性能优良,直到现在,仍然是发动机气缸体、进排气管等重要复杂铸件的型芯材料。但是,由于植物油是宝贵的工业原料,有被合脂砂取代的趋势。

四、造型

造型就是用造型材料、模型及其它工艺设备制造铸型的过程。造型方法很多,通常分为手工造型和机器造型两类。机器造型设备投资大,适于大批量生产,手工造型设备简单、适应性广,在单件、小批生产中得到了广泛应用。表 1-1 列出了常见的手工造型方法,供工艺设计练习参考。

常见手工造型方法的工艺特点及应用

表 1-1

名称	简图	主要特点	应用范围
整模造型		模样为整体,分型面为平面、型腔全部在一个砂箱内不会产生错型缺陷	最大截面在一端且为平面的铸件

名 称	简 图	主 要 特 点	应 用 范 围
分模(两箱)造型		将模样沿最大截面分开,型腔位于上、下铸型内、造型简单,节省工时	最大截面在中间的铸件,适用于各种批量生产
挖砂造型		整体模,分型面为曲面,造下型后,将妨碍起模的型砂挖去,然后造上型	整体膜,分型面不是平面,单件小批生产
假箱造型		将模样放在一个预先做好的假箱(或成型底板)上,造下型,不必挖砂,可起模	整体模,分型面,不是平面,小批或成批生产
活块造型		铸件上有妨碍起模的小凸台,制造模样时,将这部分做成活动的,拔出模样主体部分后,再取出活块。	带凸台,难以起模的铸件,单件、小批生产
地坑造型		节省下砂箱,但造型费工	单件生产,大中型铸件
三箱造型		铸型由上、中、下型构成,中箱高度要与铸件两分型面间距相适应	中间截面小,两端截面较大的铸件,单件小批生产
刮板造型		用刮板代替实体模样造型	大、中型回转体铸件、单件小批生产

五、浇注系统

浇注系统是液态合金充填型腔的通道,它由外浇口、直浇口、横浇口及内浇口组成,如图1-3a)、b)

外浇口的作用是缓和液态合金的冲力,方便浇注。中小型铸件通常使用漏斗形外浇口。

直浇口使液态合金产生一定的静压力。直浇口太高或太低,会引起冲砂或浇不足缺陷。它的形状是上大下小的锥体,锥度一般为1:20,其底部比横浇口的底面低并呈半球形。

横浇口一般开在上砂箱,断面呈倒梯形,主要起挡渣作用。

内浇口的主要作用是控制液态合金流入型腔的速度和方向。内浇口与横浇口相接而低于横浇口,断面一般是扁梯形。内浇口不要开在横浇口的尾部,应与之有15mm~40mm的距离。内浇口的开设方式很多,常见的如附表1-1所示。

图 1-3 浇注系统

1-外浇口; 2-直浇口; 3-横浇口; 4-内浇口; 5-冒口

按浇注系统各组成部分截面积比例,浇注系统可分为封闭式、半封闭式和开放式三种类型。中、小型铸铁件宜采用封闭式浇注系统,各部分的截面积之比推荐为:

$$F_{内} : F_{横} : F_{直} = 1 : 1.1 : 1.15$$

附表1-2为适于中小型铸件的浇注系统的截面形状与尺寸。

六、砂型铸造的工艺特点

砂型铸造、金属压力加工和焊接都是常用的毛坯生产方法,砂型铸造与其它两种毛坯生产方法相比,有如下优点:

1. 可以生产形状复杂,特别是具有复杂内腔的毛坯,如发动机气缸体、汽车后桥壳、机床床身等。

2. 铸件的尺寸、重量规格及所用合金几乎不受限制。在机器上常用的金属材料,例如碳钢、合金钢、铸铁、铝合金及铜合金都可用砂型铸造方法生产铸件。尤其是铸铁和铸钢。铸件的壁厚可以在几毫米至1m内任意取值。铸件的重量可达200t~300t。

3. 通常铸造设备投资少、适应性广,所用原料资源广泛、价格低廉、可以利用废旧机件、切屑等废旧金属,所以铸件成本低。

4. 铸件形状、尺寸与零件接近,节约金属材料和切削加工费用。

由于砂型铸造有上述许多优点,在工业上得到了广泛的应用,铸件的90%以上是砂型铸件,砂型铸造适用于各种形状、尺寸及各种合金铸件的生产,尤其是承受静载荷、压应力的复杂零件,如发动机气缸体、机床床身等。

但是,目前砂型铸造还存在着铸件组织粗大、化学成分不均匀、常有缩孔、缩松和气孔等缺陷,同样材料,铸件的机械性能不如锻件高。此外,砂型铸造生产工序多,一些工艺过程难以精确控制,导致铸件质量不稳定、废次品率高、表面质量差、尺寸精度低。

第二节 合金的铸造性能

合金的铸造性能是指合金经铸造加工获得优质铸件的难易程度。合金的铸造性能主要包

括合金的流动性和收缩性。

一、合金的流动性

液态合金充填铸型型腔的过程称为液态合金的充型,简称充型。浇不足、冷隔、气孔、夹杂等缺陷都是在充型不良的情况下产生的。影响充型的主要因素有合金的流动性、浇注温度和铸型填充性。

1. 合金的流动性

合金的流动性指的是由合金本性决定的液态合金的流动能力。合金的流动性越好,液态合金的充型能力越强,越有利于浇铸出轮廓清晰,壁薄而形状复杂的铸件。

合金的流动性通常以其“螺旋形试样”(图 1-4) 的长度衡量。显然,在相同条件下,铸出的螺旋式样越长,合金的流动性越好。

影响合金流动性的因素很多,其中,最主要的是合金的化学成分。图 1-5 所示为铁碳合金的流动性与其含碳量的关系。由图 1-5 可以看出,纯铁的流动性最好。随着含碳量的增加,碳钢的结晶范围扩大,碳钢流动性下降。对于铸铁,化学成分越接近共晶成分,结晶温度范围越窄,流动性越好。铸铁的结晶温度范围一般比铸钢的宽,但是,铸铁的流动性却优于铸钢,这是由于铸钢的熔点高,在铸型中散热快,很快生成一定数量的枝晶使钢液失去流动能力。

图 1-4 螺旋形试样

实践证明以上分析具有普遍性。一般地说,纯金属和共晶合金的流动性较好,化学成分对合金流动性的影响主要是通过合金的结晶温度范围来实现的,合金的结晶温度范围越窄,合金的流动性越好。常用的铸造合金中,灰口铸铁、硅黄铜的流动性最好,铸钢的流动性最差。

2. 浇注温度

浇注温度对液态合金充型能力的影响十分显著。浇注温度高,液态合金粘度下降,流动时间长,从而增强了液态合金的充型能力,可以有效地防止因充型不良而产生的冷隔,浇不足(图 1-6)等缺陷。但是,浇注温度过高,又会增加合金的收缩量和吸气量,形成缩孔、缩松、气孔和粘沙等缺陷。因此,要严格控制浇注温度。通常,灰口铸铁的浇注温度为 1200 ~ 1380 ,碳钢为 1500 ~ 1550 ,铝合金为 680 ~ 780 。

图 1-5 铁碳合金的流动性与其含碳量的关系

3. 铸型填充性对充型的影响

铸型填充性指的是铸型型腔被液态合金充满的难易程度,铸型越容易被液态合金充满则铸型的填充性越好。铸型填充性很差时,即使合金的流动性良好,也难免出现冷隔和浇不足。一

般地说,凡是增加液态合金流动阻力和冷却速度的因素都会降低铸型填充性,如铸件结构壁薄而复杂、铸型直浇道过低、内浇口截面积太小、铸型透气性差、铸型材料导热性好等均降低铸型填充性。

二、合金的收缩

1. 收缩的概念

合金的收缩指铸造合金在浇入铸型后,在液态冷却、凝固和固态冷却过程中,体积和尺寸缩小的现象。合金从浇入铸型到冷却至室温,其收缩经历:从浇注温度冷却至液相线温度时的液态收缩;贯穿整个结晶过程的凝固收缩;结晶完毕,铸件从高温冷却到室温时的固态收缩三个阶段。

图 1-6 浇不足 冷隔

a) 浇不足; b) 冷隔

液态收缩和凝固收缩引起铸型内合金液面的下降,它们是铸件缩孔、缩松的主要原因。固态收缩阶段铸件已经成形、合金的固态收缩表现为体积的缩小和三维尺寸的减小,它是铸造应力、变形及裂纹形成的主要原因。

2. 影响合金收缩的因素

影响合金收缩的因素很多,其中,化学成分、浇注温度、铸件结构及铸型的影响比较显著,现分别讨论如下

1) 化学成分

由铁碳合金状态图可以看出,合金化学成分的变化必将引起合金的结晶起始温度、结晶温度范围及线收缩率的变化,这些变化又将影响合金的液态收缩、凝固收缩和固态收缩。碳钢的总收缩率为 10% ~ 14%,白口铸铁为 12% ~ 14%,而灰口铸铁仅为 5% ~ 8%,这是由于灰口铸铁石墨化膨胀有效地降低了合金的凝固收缩。

2) 浇注温度

由合金状态图可以看出,合金的化学成分一定,浇注温度越高,浇注温度与液相线温度之差越大,从而液态收缩量越大,合金的总收缩率越大。因此,适当降低浇注温度能降低铸件的缩孔,缩松倾向。

3) 铸件结构和铸型的影响

在铸件凝固过程基本结束后,由于铸件各部分冷却速度不同,铸件各部分的收缩相互制约以及铸型、型芯对铸件收缩的机械阻碍,铸件的 actual 收缩量低于合金的自由收缩量。

三、缩孔与缩松

铸件在凝固过程中,由于合金的液态收缩和凝固收缩造成铸型内液态合金体积减小以及铸件表层因冷却较快而先凝成硬壳,往往在铸件最后凝固部分出现孔洞,其中,大而集中的称为缩孔,细小而分散的称为缩松。

1. 缩孔、缩松的形成

缩孔的形成过程如图 1-7 所示。

当合金结晶温度范围较窄时,合金充满铸型后(图 1-7a),由于铸型吸热,铸件表面率先凝成一层硬壳,切断了内浇口,将其内部的液态合金封闭起来(图 1-7b)。进一步冷却,外壳逐层增厚,由于合金的液态收缩及对形成外壳的合金的凝固收缩的补充,壳内金属液面下降,同时,

图 1-7 缩孔形成过程

固态外壳也因温度降低而收缩。若合金的液态收缩与凝固收缩之和大于固态收缩,液面与壳顶脱离(图 1-7c)。随着外壳增厚,壳内合金体积缩减,液面下降,待合金全部凝固后,在铸件上最后凝固部分形成一个倒锥形的缩孔(图 1-7d)。工程上,常用内切圆法估计铸件上可能产生缩孔的部位,这个部位称为热节,如图 1-8 所示。

当合金结晶温度范围较宽时,到凝固后期,在铸件壁中心较大的区域内,因过冷度很小,生核率很低,晶核发展成树枝发达的粗大晶体,并很快连成一片,将尚未凝固的液体分割成一个个互不相通的小熔池,最后在铸件中形成分散的细小孔洞,即缩松,如图 1-9 所示。缩松常分部在铸件壁的中心区、厚大部位或浇,冒口根部。

2. 缩孔、缩松的防止

缩孔、缩松是铸件的严重缺陷,它们减少铸件的有效承载面积,引起应力集中,降低铸件的机械性能,应该采取必要的工艺措施予以防止。由于收缩是合金的本性,在合金的冷却和凝固过程中产生缩孔、缩松是难免的。故实际生产上,常采用顺序凝固原则将缩孔、缩松转移出铸件本体。

顺序凝固原则是在铸型上靠近铸件上可能出现缩孔、缩松的热节处开设冒口(具有一定补缩能力的空腔)或布置冷铁(导热能力较大的钢或铸铁块)等工艺措施,使铸件各部分按远离冒口部分最先凝固,然后朝着冒口方向顺序凝固,最后才是冒口凝固。这样,铸件各部分的液态收缩、凝固收缩都得到了液态金属的补充,缩孔被从铸件本体转移到冒口中。图 1-10 所示为采用顺序凝固原则防止缩孔的例子,其凝固顺序是 A、B、C,冒口。

图 1-8 用内接圆法确定缩孔位置

图 1-9 缩松

图 1-10 用冒口和冷铁防止缩孔

结晶温度范围很宽的合金,由于凝固区域宽,凝固开始后不久,发达的枝晶就阻塞了补缩通道,难以用冒口实现补缩。

综上所述,当合金结晶温度范围较窄时,采用顺序凝固原则可以有效地防止缩孔、缩松。但是,顺序凝固扩大铸件各部分的温差,加重了铸件的变形和开裂倾向。因此,只有补缩效果好,且十分必要时才采用顺序凝固原则,如铸钢件、球墨铸铁件等。

四、铸造应力、变形及冷裂

1. 铸造应力的形成与防止

铸件在固态收缩阶段,若收缩受阻,就会在铸件内产生应力,这种应力称为铸造应力。铸造应力有的是暂存的,有的则一直保留到室温,前者称为暂存应力,后者称为残留应力。按产生原因,铸造应力可分为热应力、相变应力和机械应力。本章只讨论对铸件质量影响较大的热应力和机械应力。

1) 热应力的形成与防止

热应力是指在固态收缩阶段,由于铸件各部分冷却速度不同,在同一时期铸件各部分收缩不一致,而引起的铸造应力。

下面以图 1-11a) 所示 T 形梁铸件来分析热应力的形成:

为了便于分析,设想该梁是由厚度较大的杆 1 和较薄的杆 2 组成的整体。图 1-11b) 是杆 1 和杆 2 互不关联时的自由冷却曲线,当合金温度 $T = T_k$ 时,合金处于塑性状态,此时,合金的变形抗力较弹性状态时低得多,且变形后应力自行消失;当 $T < T_k$ 时,合金处于弹性状态,变形后应力将继续存在。

t_1 时刻以前,杆 1、杆 2 都处于塑性状态。若两杆均自由收缩,则杆 1、杆 2 将分别收缩为 L_1' 、 L_2' 。但是,两根杆是联在一起的,彼此制约,两杆只能收缩为同一长度 L_1 。在此阶段,杆 1 被塑性压缩,杆 2 塑性伸长,如图 1-11c) 所示。在此阶段,由于两杆都处于塑性状态,铸件内无应力。

在 $t_1 < t < t_2$ 阶段,杆 2 处于弹性状态,变形抗力急剧上升,而杆 1 仍处于塑性状态,整个铸件的收缩决定于杆 2。冷却到 t_2 时刻,铸件长度 $L_2 = L_2''$,杆 2 的收缩未受阻碍,杆 1 被塑性压缩,如图 1-11d) 所示。此阶段铸件内也不产生应力。

在 $t_2 < t < t_3$ 阶段,两杆均处于弹性状态,杆 1 的温度高于杆 2。若两杆均能自由收缩,到 t_3 时刻,杆 1 的长度为 L_3 ,杆 2 的长度为 L_3'' ,但是,联在一体的两根杆彼此制约,若不弯曲,只能如图 1-11e) 所示,两杆有同一长度 L_3 。铸件冷却到室温后,杆 1 受弹性拉伸,其内存在拉应力,杆 2 被弹性压缩,其内有压应力。这种内应力将一直保持到室温,属于残留应力。

由以上的分析还可以推知,热应力使铸件冷却较缓慢的部分(如厚壁、内壁、心部等处)受拉伸,冷却快的部分(如薄壁、表层等处)受压缩。显然铸件的壁厚差越大,合金的固态收缩越大,强度越高,热应力越大。

图 1-11 铸件热应力、变形及裂纹的形成