目录 CONTENTS

第一章　绪论 …… 1

第一节　工程训练 …… 1
第二节　工程训练的教学环节 …… 2
第三节　工程训练目的 …… 3
第四节　工程训练要求 …… 4
第五节　总体思政目标 …… 5

第二章　铸造 …… 6

第一节　砂型铸造的一般工艺流程 …… 6
第二节　分型面与分模面的选择 …… 7
第三节　浇注系统及其选择 …… 7
第四节　冒口及其选择 …… 8
第五节　造型与造芯 …… 9
第六节　合金的熔炼和浇注 …… 16
第七节　落砂、清理和检验 …… 20
第八节　铸件缺陷与质量分析 …… 20
第九节　实训教学指导——铸造 …… 22

第三章　锻压 …… 24

第一节　锻造 …… 24
第二节　冲压 …… 32
第三节　实训教学指导——锻压 …… 42

第四章 焊接 …… 45
第一节 概述 …… 45
第二节 气焊与切割 …… 51
第三节 实训教学示例——焊接 …… 58
第五章 车削 …… 62
第一节 车床结构与传动 …… 62
第二节 车刀 …… 66
第三节 车外圆 …… 72
第四节 车端面 …… 78
第五节 车螺纹 …… 79
第六节 车内孔 …… 81
第七节 实训教学指导——车削 …… 83
第六章 钳工 …… 85
第一节 概述 …… 85
第二节 锉削 …… 86
第三节 钻孔 …… 90
第四节 划线 …… 94
第五节 锯割 …… 95
第六节 实训教学指导——钳工 …… 99
第七章 3D 打印 …… 101
第一节 概述 …… 101
第二节 3D 打印机结构参数 …… 104
第三节 3D 打印机操作 …… 107
第四节 实训教学指导——3D 打印 …… 110
第八章 激光切割 …… 113
第一节 概述 …… 113
第二节 激光切割机简介 …… 114
第三节 金属激光切割安全操作规程 …… 116
第四节 实训教学指导——激光切割 …… 120

第九章　数控机床 …… 123

第一节　数控车床 …… 123
第二节　数控铣床 …… 124
第三节　实训教学指导——数控车床 …… 127
第四节　实训教学指导——数控铣床 …… 129

第十章　机械加工精度与表面质量 …… 131

第一节　加工精度与表面质量概述 …… 131
第二节　加工精度的影响因素 …… 135
第三节　表面质量的影响因素 …… 151
第四节　加工误差分析 …… 158

第十一章　现代制造技术 …… 160

第一节　特种加工技术 …… 160
第二节　快速成形技术 …… 171
第三节　制造自动化技术 …… 174
第四节　先进制造生产模式 …… 179
第五节　3D 扫描技术 …… 192

参考文献 …… 198

第一章

绪　　论

第一节　工程训练

工程训练是工科高校普遍开设的一门工程实践性技术基础课程，是在原“金属工艺学实习”基础上增加先进制造技术等扩展而来的一门以传授机械制造基础知识和技能为主的课程，它既是工科高等学校对学生进行机械工程训练的主要环节和内容之一，又是与“工程材料”“材料成型工艺基础”“机械制造工艺基础”等课程配套的必备实践教学环节。

一、机械制造过程

首先根据产品（或零件）的设计图纸编制制造工艺文件，然后选择原材料，进行生产准备。原材料包括钢锭、铝锭、铸铁、铸钢以及各种钢材、铝材等金属及非金属材料。

机械零件的加工根据各阶段所要求达到的质量不同，大体上可分为毛坯制造和切削加工两个主要阶段。将原材料用铸造、锻造、冲压、焊接、下料等方法制成零件的毛坯（或半成品、成品），再经过车削、铣削、刨削、磨削、钻削、镗削、钳工等切削加工和特种加工，获得所需的几何形状、尺寸和表面质量。根据加工精度的不同，把上述工序分为粗加工、半精加工和精加工。

在毛坯制造和切削加工过程中，为改善加工工艺性和保证零件的机械性能，常需在某些工序之前（或之后）对工件进行热处理或表面处理。

把加工完毕并检验合格的各零件，按一定的顺序和配合关系组合、连接、固定起来，成为部件和整机，这一过程称为装配。装配好的部件与机器还要经过试运转和调整，合格后才能包装出厂。

习惯上还根据坯料是否加热，把铸造、锻造、焊接、热处理统称为热加工，把切削加工和装配等称为冷加工。随着现代制造技术的发展，数控加工等先进制造方法应用日益广泛。

二、工程训练内容

机械类专业工程训练应安排铸造、锻造、冲压、焊接、热处理及车削、铣削、刨削、磨削、钳工、数控加工、特种加工和机器人创新等工种的实习。具体实习内容包括以下几方面。

（1）常用钢铁材料及热处理工艺的基本知识。

（2）铸造、锻造、冲压、焊接的主要加工方法及简单加工工艺。

（3）车削、铣削、刨削、磨削、钳工和数控加工、特种加工的主要加工方法及简单加工工艺。

（4）各种冷、热加工所用的设备、附件及其工具、夹具、量具和模具等的大致结构、工作原理和使用方法。

（5）特种加工技术的工作原理和技术方法。

（6）机器人创新技术。

第二节　工程训练的教学环节

工程训练在工程训练中心按工种进行。教学环节有课堂讲授和观看电教片，自学、观摩与小组讨论，现场操作演示，操作练习，教学实验，综合技能练习等。

一、课堂讲授和观看电教片

它是就某工种、加工工艺而安排的专题讲解，知识较系统和宽泛，但必须注意控制时间占比，提高效率。

二、自学、观摩与小组讨论

它能充分利用训练环境条件，发挥学生的自主学习能力。

三、现场操作演示

对学生将进行操作训练的机床等，先由师傅进行操作示范和讲解；或对某些未安排学生实际操作的机床和工艺，由实习教师进行操作演示和讲解。

四、操作练习

操作练习是实习的主要环节，学生通过实际操作获得各种加工方法的感性认知和体

验，初步学会使用有关设备和工具，从而具有一定的操作能力。

五、教学实验

教学实验以拓展工艺知识和介绍新技术、新工艺为主，使学生扩大知识面，开阔眼界。

六、综合技能练习

它是使学生运用所学知识和技能，独立分析和解决某个具体的工艺问题，并亲自付诸实践的一种综合性训练。

第三节 工程训练目的

工程训练的目的是使学生学习工艺知识，增强实践能力，提高综合素质，培养创新精神。

一、学习工艺知识

理工科院校的学生除了应具备较强的基础理论知识和专业技术知识外，还必须具备一定的工程材料及机械制造工艺知识。在工程训练中，学生通过自己的亲身实践来获取的这些工艺知识都是非常具体、生动而实际的，这对于机械类相关专业的学生学习后续课程、进行毕业设计乃至以后从事技术工作都是非常必要的。

二、增强实践能力

这里所说的实践能力，包括动手能力、在生产实践中获取知识的能力，以及运用所学知识与技能独立分析和解决工艺技术问题的能力。这些能力对于理工科学生是非常重要的，而这些能力只能通过实习、实验、作业、课程设计、毕业设计等实践性课程、教学环节以及各种课外科技创新活动来培养。在工程训练中，学生亲自动手操作各种机器设备，使用各种工具、夹具、量具等，尽可能结合实际生产进行各工种操作训练。在有条件的情况下，还要安排综合性练习、工艺设计和工艺讨论等训练环节。

三、提高工程素质

作为一个工程技术人员应具有较高的综合素质，其中尤其应具有较高的工程素质。而工程素质除了包括材料、设备、工（夹、量、模）具、工艺等知识和一定技能外，还包括质量、安全、环境、经济、市场、管理、法律、社会化等方面的意识。工程训练是在接近机械制造工厂生产实际的特殊环境下进行的，对大多数学生来说是第一次接触机械制造工

业技术、第一次亲自使用机器进行工业制造、第一次通过工程理论与实践的结合来检验自身的学习效果，同时感受社会化生产的熏陶和安全性、组织性、纪律性的教育。学生将亲身感受到劳动的艰辛，体验到劳动成果的来之不易，增强对劳动者的思想感情，加强对工程素质的认识。所有这些对提高学生的综合素质必然起到非常重要的作用。

四、培养创新精神

启蒙式的潜移默化对培养学生的创新意识和创新能力是非常重要的。在工程训练中，学生要接触到几十种机械、电气与电子设备等，并将了解、熟悉和掌握其中一部分设备的结构、原理和使用方法。这些设备和加工工艺强烈地映射出创造者们历经长期追求和艰苦探索所迸发出的智慧火花。在这种环境下的体验式学习有利于培养学生的创新意识。而实习过程中有意识安排的自行设计、制作机器人等创新训练环节，十分有益于培养学生的创新能力。

第四节　工程训练要求

一、工程训练的学习要求

工程训练是一门实践性很强的技术基础课程，它的教学方式不同于以教室授课为主的一般理论性课程。工程训练课主要的学习课堂不是教室，而是工厂车间或实验室现场；主要的学习对象不是书本，而是具体的制造工艺过程，包括具体的材料、设备、工艺、工（夹、量、模）具等内容；学习的指导者是现场的教学指导人员，学习的方法主要是在实践中学习，理论联系实践学习，更强调通过自身体验来获取知识和培养技能。

因此，学生在实习中要注重在实习现场和在具体的生产工艺过程中学习工艺知识和基本技能；要注意实习教材的预习和复习，注意在实习中的观察、模仿、询问、讨论，形成正确的行为习惯和操作方式；课后及时完成实习报告和实验报告等；要严格遵守厂纪、厂规和安全操作规程，重视人身和设备安全。

二、工程训练的安全要求

工业安全技术教育是确保学生实习安全和培养学生工业安全意识的重要环节，也是工程素质培养的重要内容。限于教材篇幅，各实习工种的安全技术未列入本书内容，各实习工种教师应在教学实习中增加该部分的相关内容。

要牢固树立“安全第一”的思想。在整个实习过程中，教师和学生要把确保安全放在第一位，把安全教育贯穿始终，提倡对学生实行中心、工种、教师三级安全教育，不断提高安全意识，强化和落实安全措施。

第五节 总体思政目标

机械工程训练旨在培养学生工程实践能力与创新精神，融入思政教育可实现立德树人，提升学生综合素质。其总体思政目标可从爱国情怀、职业道德、科学精神、创新思维、团队协作五方面阐述：

（1）厚植爱国情怀：使学生了解机械行业对国家发展的重大意义，认识到自身肩负的时代使命与责任，将个人发展与国家需求紧密相连，激发学生为国家机械工业繁荣富强而努力奋斗的决心。

（2）培育职业道德：帮助学生树立严谨细致、精益求精的工作态度，让学生明白机械工程领域容不得半点马虎，一个小失误都可能酿成大祸；培养学生的敬业精神，使其热爱机械工程专业，全身心投入学习与未来工作；引导学生在未来职业生涯中坚守职业操守，抵制不正当竞争与学术不端行为。

（3）涵养科学精神：培养学生尊重事实、追求真理的科学态度，在机械工程训练中依据客观规律解决问题；让学生明白机械工程发展是在不断探索、失败、再探索中前行，遇到困难挫折要坚持不懈、勇于挑战，培养学生百折不挠的精神。

（4）激发创新思维：鼓励学生突破传统思维定式，敢于提出新想法、新方案，培养学生的创新意识；引导学生在实践中运用创新方法与手段解决实际问题，提升创新能力，为机械行业发展贡献智慧。

（5）强化团队协作：让学生明白机械工程项目往往需多人协作，个人力量有限，需依靠团队智慧与力量；培养学生沟通交流、分工协作、相互支持的能力，使其能在团队中找准定位，与团队成员密切配合，共同完成任务。

第二章

铸　　造

实习目的及要求

1. 了解砂型铸造的工艺过程和适用范围；
2. 了解造型材料的基本性能和成分；
3. 了解砂型的结构；
4. 熟悉模样的分型面、分模面和浇冒系统的组成及作用；
5. 能独立完成皮带轮的整模造型和手柄或叶片的挖砂造型并浇注；
6. 了解常见铸件的缺陷及其产生原因；
7. 了解先进的铸造生产方法及其特点。

思政目标

通过铸造工序教学与实践，让学生认识铸造在制造业的关键地位，培养其严谨专注、追求卓越的工匠精神。使其树立质量与责任意识，明白铸造产品对国家工业发展的重要意义，厚植爱国情怀与行业担当。

第一节　砂型铸造的一般工艺流程

铸造是将熔融金属浇入铸型的空腔内，等其冷却凝固后获得特定形状与性能铸件的成型方法。铸造的工艺方法很多，一般将铸造分成砂型铸造和特种铸造两大类。用型砂和型芯砂制造铸型的方法称为砂型铸造；凡不同于砂型铸造的所有铸造方法，统称为特种铸造。

砂型铸造的造型材料来源广泛，价格低廉，因此砂型铸造目前仍然是国内外应用最广泛的铸造方法，也是最基本的铸造方法。例如，通过砂型铸造生产的金属切削机床床身、重型机器壳体等，通常占所有铸件总重量的 70%～90%；通过砂型铸造生产的汽车零部件占汽车零部件总量的 30%～70%。

砂型铸造的工艺流程如图 2-1 所示。

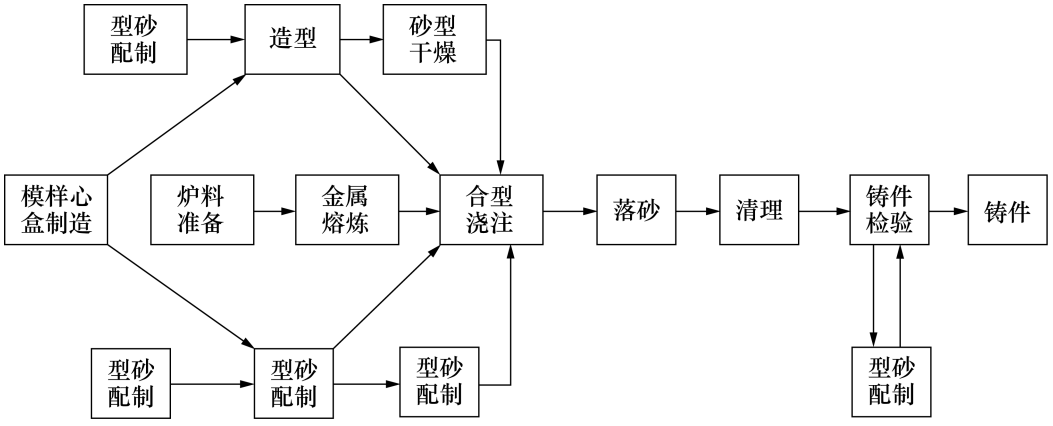


图 2-1　砂型铸造的工艺流程

铸件的形状和尺寸主要取决于造型和造芯，而铸件的化学成分则取决于熔炼。因此，造型、造芯和熔炼是铸造生产中的重要工序。

第二节　分型面与分模面的选择

分型面是指上、下两半铸件的接触面；分模面是指模样各组元之间的面。

分型面的选择原则如下：

（1）分型面应选择在模型的最大截面处，使铸件的全部或大部分位于下砂型内，以便尽可能采用整模两种造型，有芯时下芯方便，也易于检查壁厚是否均匀。

（2）应尽量使铸件上的加工基准面和大部分加工面位于同一砂箱内，以保证铸件有较好的加工精度。

（3）应尽量选取平直的分型面，并使铸模容易从铸件中取出，尽量省掉挖砂或活块造型。

（4）应尽量减少分型面的数目，以降低劳动强度，提高劳动生产效率。

第三节　浇注系统及其选择

浇注系统是将液态金属引入铸型型腔的通道，由外浇口（浇口杯）、直浇道、横浇道、

内浇道和缓冲包组成。典型的浇注系统如图 2-2 所示。

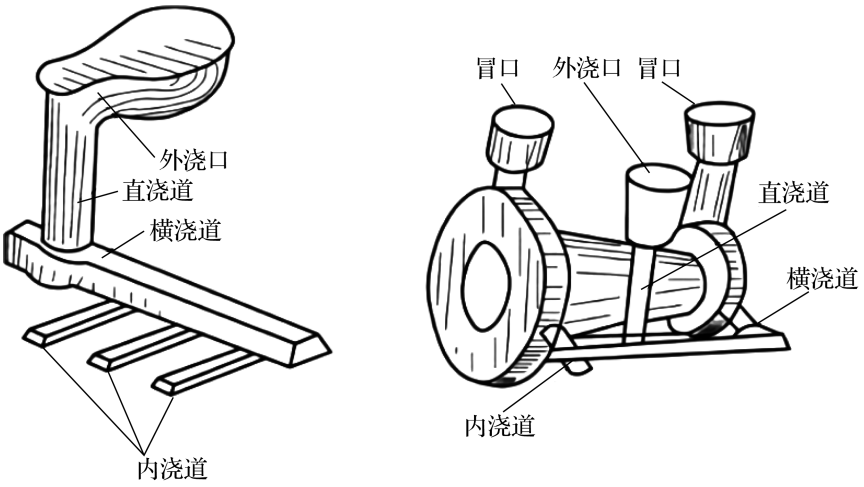


图 2-2 典型的浇注系统

浇注系统可以起到引流、缓冲、挡渣、补缩的作用，并能控制铸件的凝固顺序。

浇口位置的选择原则如下：

（1）要求同时凝固的铸件，浇口应开在薄壁处；要求顺序凝固的铸件，浇口应开在厚壁上。

（2）浇口不应开在铸件的重要部分和靠近型芯的地方，并且不能阻碍铸件的收缩。

（3）浇口位置的选择，应使金属液体顺着型壁注入型腔，而不应正面冲击铸型、型芯或其薄弱的部分。对于旋转体铸件如圆形，应从切线方向将金属液引入。

（4）浇口位置的选择应使扣模清理工作容易进行，并要注意节约金属液。

第四节 冒口及其选择

冒口是在铸型内储存供补缩铸件用的金属液的空腔。冒口除了可以通过补缩来有效消除铸件中的缩孔、缩松等缺陷外，还有排气、集渣和观察铸型是否浇满的作用。冒口的形状多为圆柱形、方形或腰形，其大小、数量和位置视具体情况而定。冒口设置的原则如下：

（1）冒口的凝固时间应大于或等于铸件被补缩部分的凝固时间，应尽量放在铸件被补缩部位的上部或是最后凝固的地方。

（2）冒口内应有足够的金属液补充铸件的收缩，应尽量放在铸件最高而又较厚的部位，以便利金属液的自重来进行补缩。

（3）冒口应与铸件上被补缩的部位之间存在补缩通道，尽可能不阻碍铸件的收缩。

（4）冒口最好布置在铸件需要机械加工的表面上，以减少铸件精整时的工时。

第五节　造型与造芯

一、造型

用型砂和模样等工艺装备制造铸型的过程，称为造型。

（一）造型材料的基本性能要求、组成及配制

1. 造型材料的基本性能要求

造型材料分为型砂和芯砂两种，用于制造铸型、形成铸件外部轮廓的材料称为型砂；用于制造型芯、形成铸件内部孔腔的材料称为芯砂。型砂和芯砂的性能对铸件的质量有很大的影响，如砂眼、夹砂、气孔、裂纹等铸造缺陷都与其性能有关，其性能包括强度、可塑性、透气性、耐火性和退让性等。

（1）强度

强度是指型砂在外力的作用下，不易变形、不易破坏的能力。如果强度不足，在造型搬运、合箱过程中易形成塌箱；在液态金属的冲刷下，易使铸型表面破损，造成铸件砂眼、夹砂等缺陷。若强度太高，又会使铸型太硬阻碍铸件的收缩，使铸件产生内应力甚至开裂，还使透气性变差，从而导致铸件产生气孔、气窝、裂纹等铸造缺陷。

（2）可塑性

可塑性是指型砂在外力作用下变形，去除外力后能完整保持所赋予的形状的能力。可塑性好，容易获得轮廓清晰、尺寸精确的铸件。

（3）透气性

透气性是指气体通过型（芯）砂内孔间隙的能力。如果透气性不好，高温液态金属浇入铸型中产生的气体不能顺利排出，就会使铸件产生气孔、气窝等铸造缺陷。

（4）耐火性

耐火性是指型砂抵抗高温液态金属热作用的能力。耐火性好，在高温液态金属的作用下不易被烧结粘砂。耐火性的好坏与型砂中 SiO_2 含量有关，SiO_2 含量越高耐火性能越好；型砂颗粒度越大，耐火性也越好。

（5）退让性

退让性是指铸件在冷凝时，型砂可被压缩的能力。如果型砂退让性不好，在铸件由液态到固态体积缩小时，就会阻碍铸件的收缩，容易导致铸件产生内应力，从而使铸件产生裂纹甚至开裂。

除此之外，型砂还应具备良好的复用性。

芯砂是用于制造型芯、形成铸件内部孔腔的，在浇注时它被高温金属液所包围，受到的热作用力要比型砂强。因此，要求芯砂的耐火性、强度、透气性要比型砂高，退让性要比型砂好。另外还要求芯砂吸湿性和发气性要小，溃散性要好。

型（芯）砂性能的好坏对铸件质量有很大的影响，因此，在大量生产的铸造车间，设有专门的型砂试验室，用仪器设备及时检测型砂的性能，合格后才可用于生产。在我们金工实习时，可用一种经验手测法检测型（芯）砂的性能，其方法是：用手抓一把型（芯）砂，将其捏紧后松开，若砂团既不黏手，也不松散，且手印清晰，把它折断后断面平整均匀，则表示其强度、可塑性较好。

2. 造型（芯）材料的组成

为了满足型（芯）砂的性能要求，型（芯）砂一般由原砂、黏结剂、附加物和水按一定的比例混制而成。常用的湿型砂（以铸铁件为例）中，新砂占 10%～20%，旧砂占 80%～90%，膨润土占 2%～3%，水占 4%～5%。

（1）原砂

原砂是型砂的主体，按主要成分不同可分为三大类：①石英砂，其 SiO_2 含量在 90%～97%之间，一般用于浇注铸钢件（铸钢件的浇注温度为 1 570 ℃左右）；②石英——长石砂，其 SiO_2 含量在 85%～90%之间，一般用于浇注铸铁件；③黏土性砂，其黏土的含量在 2%～5%之间，一般用于浇注有色合金，如镁合金、铝合金等，其中铝合金的浇注温度为 700 ℃左右。

原砂按形状不同可分为圆形（○）、尖角形（△）、多角形（□）。

（2）黏结剂

黏结剂的作用是使砂粒黏结成具有一定可塑性及强度的型砂。型砂铸造所用黏结剂大多为黏土，分普通黏土和膨润土。除黏土外，常用的黏结剂还有水玻璃、桐油、树脂等，相应的型砂分别称为水玻璃砂、油砂、树脂砂等，芯砂也常采用这些黏结剂。

（3）附加物

为了改善型（芯）砂的性能而加入的其他物质称为附加物。型砂中常用的附加物有煤粉和木屑。加入煤粉能提高型砂的耐火性，防止铸件表面粘砂，使铸件表面光洁；加入木屑能改善型砂的退让性和透气性，防止铸件产生裂纹、气孔、气窝等铸造缺陷。

（4）水

水能使原砂与黏土混成一体，并保持一定的强度和透气性。但水分含量要适当，过多或过少都会给铸件质量带来不利的影响。常用湿型砂（以铸铁件型砂为例）水的含量占 4%～5%。

3. 型（芯）砂的配制

型砂的组成和制配工艺对型砂的性能有很大影响。将新砂、旧砂、黏土、煤粉、水等

处理后，根据铸造合金种类的不同，按一定配比放入混砂机中进行混合称为混制。由于浇注时砂型表面受高温金属液的作用，砂粒粉碎变细，煤粉燃烧分解，使型砂性能变坏。因此，旧砂不能直接使用，必须经磁选（选出砂中的铁块、铁豆和铁钉等）并过筛去除铁块及砂团，再掺入适量的新砂、黏土和水，经过混制恢复良好性能后才能使用。

型砂混制在混砂机中进行，其混制过程是：先按比例加入新砂、旧砂、膨润土和煤粉等干混 2～3 min，再加水湿混 5～12 min，性能符合要求后卸砂，堆放 4～5 h，使黏土膜中的水分均匀，称为调匀。使用前还要过筛并使新砂松散好用。

（二）造型方法

1. 手工造型方法

手工造型是用手工来完成紧砂、起模和合箱等造型过程。其优点是：模型成本低，工艺装备简单，造型操作灵活，不适合用机器造型的单件、小批量生产或特别复杂的铸件都可采用手工造型。手工造型至今仍然是铸造生产的基本方法之一。其不足之处是要求工人有较高技术，工人劳动强度大，生产效率低，铸件精度较差。一个完整的手工造型工艺过程包括工装准备、放置模样、填砂、紧实、开设浇冒口、起模、修型、放置型芯、合型等主要工序，如图 2-3 所示。

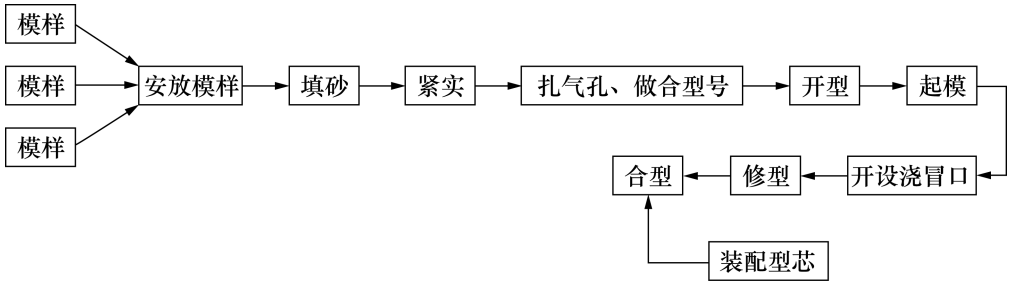


图 2-3　手工造型的主要工序流程图

手工造型的方法很多，按砂箱特征可分为两箱造型、三箱造型、脱箱造型、地坑造型等；按模样特征可分为整模造型、分模造型、活块造型、挖砂造型、假箱造型和刮板造型等。

2. 机器造型方法

机器造型把造型过程中的主要操作——紧砂和起模——机械化。其主要优点是：改善劳动条件，减轻工人的劳动强度，对工人操作技术要求不高；提高了生产率，适应批量生产；保证了铸件质量及其稳定性，提高了铸件精度和表面质量，降低了铸件的废品率。其缺点是：设备和工装费用高，生产准备时间长，只适用于一个分型面的两箱造型。

机器造型按照机器成型机理和铸型特征可分为振击、压实、振压、射压、抛砂、气流

紧实等各种造型方法。

（三）手工整模造型实例

当模型的最大截面位于其端部，并选它作为分型面，将模样做成整体的造型过程，称为整模造型。整模造型的型腔在一个砂箱里，能避免错箱等缺陷，铸件形状、尺寸精度较高。

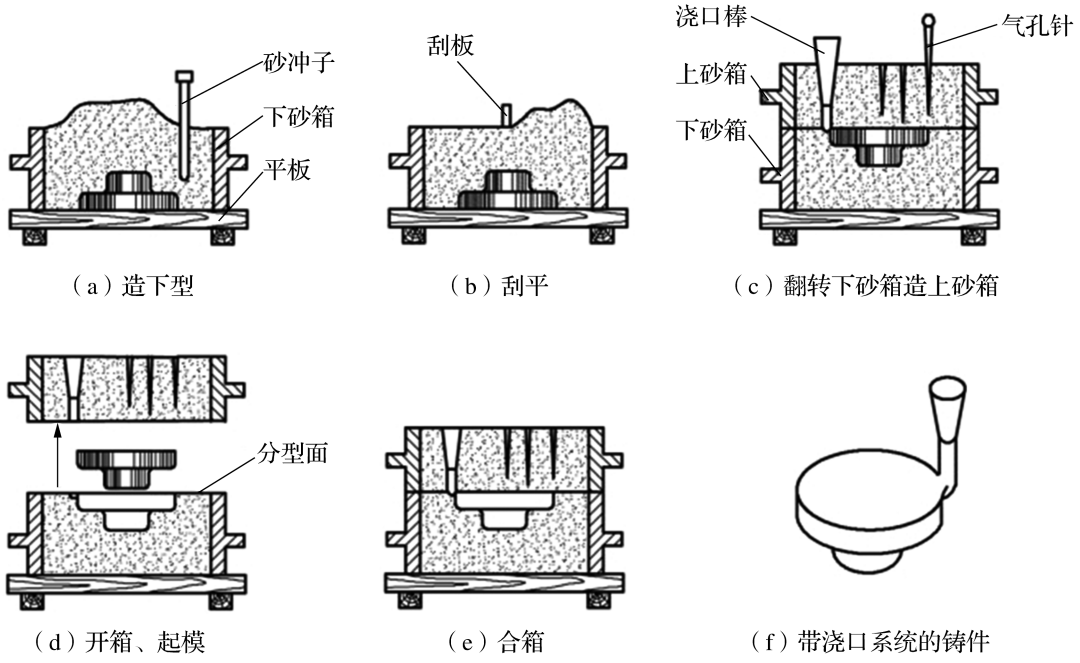
下面以皮带轮的整模造型和手柄或叶片整模造型为例进行介绍。

1. 整模造型工具的介绍

造型工具包括砂冲、铁锹、筛子，另外还有砂箱、平板、平锤、刮板、定位销等；修型工具包括刮刀、砂勾、竹片、秋叶、法兰梗、圆头梗等。

2. 整模造型过程

皮带轮的整模造型和手柄或叶片整模造型过程如图 2-4 所示。



（a）造下型　（b）刮平　（c）翻转下砂箱造上砂箱

（d）开箱、起模　（e）合箱　（f）带浇口系统的铸件

图 2-4　整模造型过程

（四）造型操作要领

（1）造型前须检查模样是否符合工艺要求。

（2）安放铸模时应考虑铸模易从砂型中取出，一般最大截面朝下放在平板上；要注意留出吃砂量的位置，吃砂量是指模样与箱壁之间的厚度，吃砂量一般最少保持在 20～30

mm；要考虑好留出浇冒系统安放的位置。

（3）添砂：应分三次添砂，依次舂紧。第一次添砂应加到砂箱高度的 2/3 并用手按住模样，随即用指尖将模样周围的砂按紧，以固定模样的位置，然后用砂冲舂砂；第二次添砂应加满至砂箱高度并舂砂；第三次添砂应加到高出砂箱约 30 mm，然后用平锤打紧。

（4）舂砂：舂砂是一项技术性较强的工作，因涉及紧实度，舂砂过松，浇注时铸型会涨大，使铸件尺寸增大，也易产生粘砂，有时甚至会产生垮箱；舂砂过紧，又会使铸型的退让性、透气性不好，故舂砂时要由外向内呈“回形”舂砂，应做到箱壁挡处的型砂硬度要比模样处紧实度高些，下型要比上型紧实度高些。

（5）造型：一般先造下型，再造上型，为了防止上、下两半铸型黏合在一起，中间要撒上一层分型砂（实习时采用的分型砂是石英砂）。

（6）定位：常用的定位方法有划线定位和定位销定位两种（实习时采用的是划线定位的方法）。

（7）安放浇冒系统：一般直浇道开设在距离模样 20～30 mm 处，如果开设得离模样太近，在浇注时易冲塌型砂，产生夹砂；如果开设得太远，在浇注液态金属时不易冲满型腔，铸件易产生冷隔或浇不足的现象。

（8）排气：常用的排气方法有两种，即扎通气孔和安置出气冒口。扎通气孔时，通气针要与型面垂直。操作时应注意：通气孔的大小一般为 2～3 mm，通气孔的深度应保持通气针尖距离模样有一定的距离，通常扎到砂箱 2/3 的高度。通气孔的数目一般应不少于每平方分米内 5 个。

（9）开箱：进行开箱操作时，一定要仔细、认真，否则会加大修型的工作量。开箱前，要用撬棒在上、下砂箱搭手间将上、下砂箱稍微左右撬动，使型壁与模样间产生微小间隙，然后方可开箱；操作时，应注意上型必须垂直向上水平提起。

（10）松模：松模前可用水笔蘸些水，把模样四周的砂润湿一下以增加黏结力；刷水时应一刷而过，不要让水单独留在某处，以免造成部分水分过多，浇注时产生大量气体，使铸件易产生气孔；松模时要左右对称地松，不要损坏模样。

（11）起模：松模操作完成后，便可起模，起模操作一定要小心细致，起模起得好，可大大减少修型时间。其方法是：先用木槌向下敲击起模钉，使粘在模样上的型砂脱落，然后慢慢地将其向上垂直提起，并同时用木槌轻轻敲打模样，待模样即将全部取出时，要快速上提且不能偏斜或摆动，这是非常关键的一步。

（12）修型：修型是一项技术性很强的工作，它可以弥补由于舂砂或起模等操作不当而引起的不足；修型操作时应遵循先内后外、先上后下的顺序。

（13）合箱（合型）：将铸型的各个组元（如上型、下型、型芯等）组合成一个完整铸型的操作过程称为合型。合型是造型过程中最重要的操作工序之一，合型前应仔细检查壁厚、气眼，以及有无压坏或碰坏型芯和铸型，型腔中是否有浮砂；检查上箱有无局部型

砂脱落、型砂上有无裂缝。检查无误方可合型。

二、造芯

型芯的主要作用是用来获得铸件的内腔，有时也可部分或全部用型芯形成铸件的外形。砂芯的四面被高温金属液包围，受到的冲刷及烘烤比砂型厉害，因此砂芯必须具有比砂型更好的使用性能，在制造型芯时还有一些特殊的工艺要求。

（一）造芯工艺要求

（1）安放芯骨。为增强型芯的强度和刚度，在型芯中要安置与型芯形状相适宜的芯骨。小件的芯骨一般用铁钉或铁丝制成；大件及形状复杂的芯骨用铸铁铸成。较大的芯骨上要做出吊环，以便吊运、安放，如图 2-5 所示。

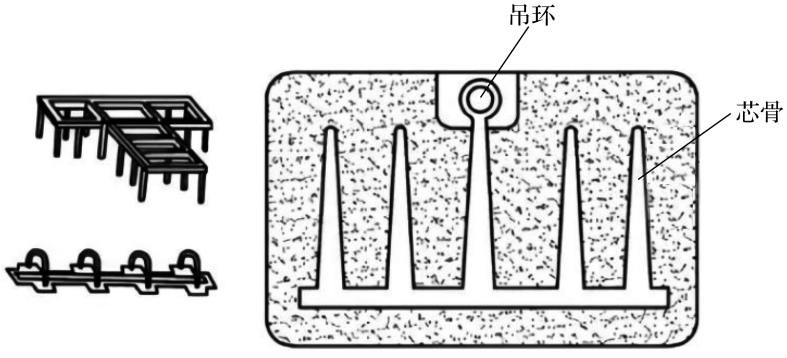


图 2-5　芯骨

（2）开通气孔。为了顺利排出型芯中的气体，要开出通气道。通气道与铸型出气孔连通。形状简单的型芯，用气孔针扎出通气孔；形状复杂的型芯，在其中埋入蜡线；对大型型芯，内部填以焦炭。常用的几种通气道开出方式如图 2-6 所示。

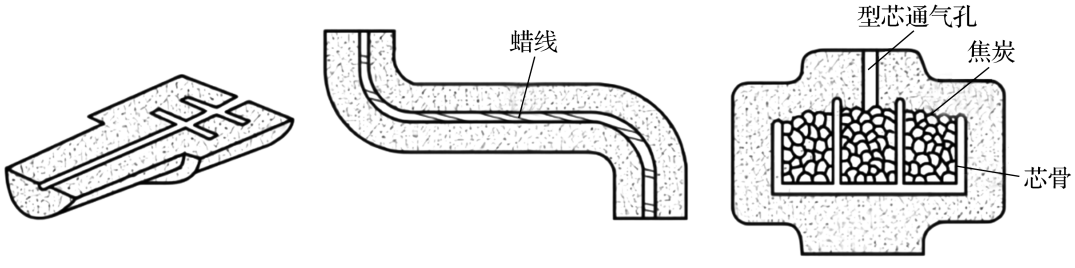


图 2-6　型芯的通气

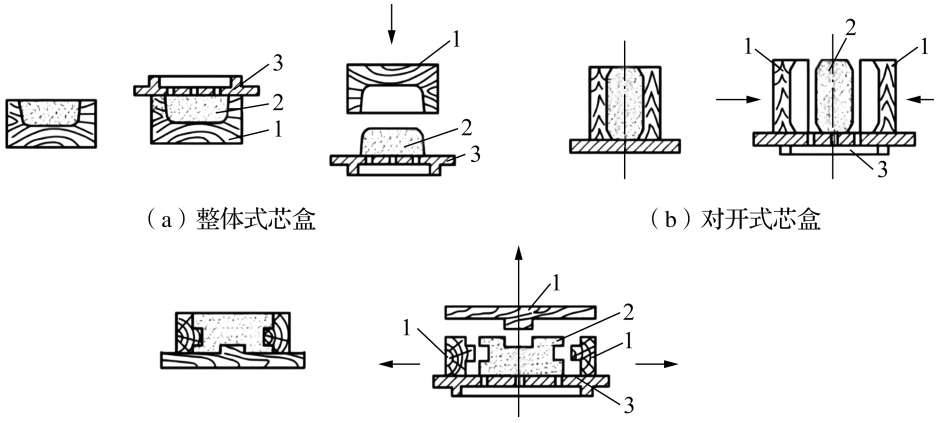
（3）刷涂料。刷涂料的作用是防止铸件粘砂，改善铸件内腔表面的粗糙度。铸铁件型芯常用石墨涂料，铸钢件型芯则用石英粉涂料。

（4）烘干。烘干的目的是为了提高型芯的强度和透气性。烘干温度与造芯材料有关，

通常黏土芯为 250～350 ℃，油砂芯为 180～240 ℃。

（二）造芯方法

单件、小批量生产时，大多采用手工型芯盒造芯。根据型芯结构的复杂程度不同，型芯盒可分为整体式芯盒、对开式芯盒和可拆式芯盒，造芯过程如图 2-7 所示。



（a）整体式芯盒　　（b）对开式芯盒

（c）可拆式芯盒

1—芯盒；2—砂芯；3—烘干板。

图 2-7　各种芯盒的造芯过程

整体式芯盒制芯用于形状简单的中、小砂芯。对开式芯盒制芯适用于圆形截面的较复杂砂芯。可拆式芯盒制芯对于形状复杂的大、中型砂芯，当用整体式和对开式芯盒无法取芯时，可将芯盒分成几块，分别拆去芯盒取出砂芯。芯盒的某些部分还可以做成活块。

对于直径较大的回转体型芯，为降低造芯成本，有时可采用刮板造芯，如图 2-8 所示，待两个制好的半芯经烘干后再胶合成整体。

批量生产的砂芯可用机器制出。射芯机是目前应用最多的一种造芯机械，其工作原理如图 2-9 所示。首先打开砂闸板，芯砂由砂斗落入射砂筒内，装完定量的芯砂后合上砂闸板；然后由汽缸动作打开射砂阀，使储气包中的压缩空气迅速进入射砂筒，将筒内的芯砂经射砂孔射入型芯盒而制得型芯，压缩空气则经射砂板上的排气孔排出，完成制芯操作。

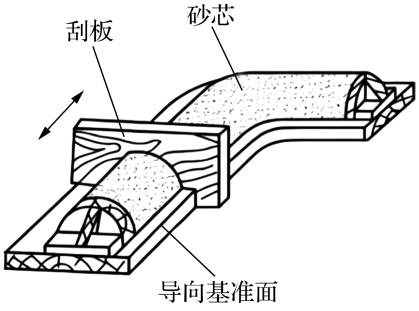
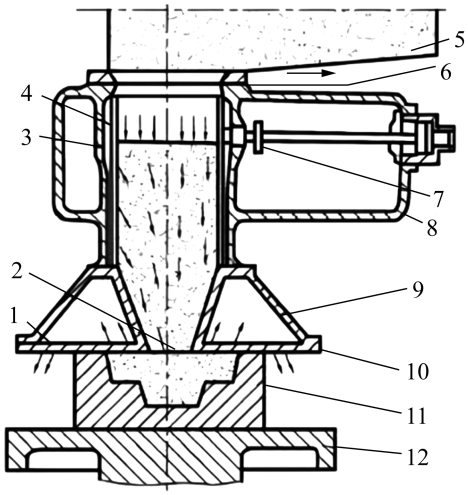


图 2-8　刮板造芯



1—排气孔；2—射砂孔；3—射腔；4—射砂筒；5—砂斗；6—砂闸板；7—射砂阀；8—储气包；9—射砂头；10—射砂板；11—型芯盒；12—工作台。

图 2–9　射芯机工作原理

第六节　合金的熔炼和浇注

一、合金的熔炼

合金的熔炼是铸造的必要过程之一。熔炼对铸件质量有很大的影响，操作不当会使铸件因成分和机械性能不合格而报废。

（一）铸铁的熔炼

对铸铁熔炼的基本要求是：铁水温度高、化学成分合格、非金属夹杂物和气体含量少；燃料、电力、原材料消耗少；熔化速度快，金属烧损少。

熔炼铸铁的炉子有冲天炉、电弧炉和感应炉等。目前仍常用冲天炉进行熔炼。用冲天炉熔化的铁水质量虽然不及电炉好，但冲天炉结构简单，操作方便，熔炼效率高，成本低，能连续生产。

冲天炉的熔炼操作过程大致如下：每次开炉前，用耐火材料将炉体损坏部分修好，并烘干；然后在炉底分批装入底焦并预先燃烧；而后在底焦上面交替（呈层状）装入金属炉料和层焦，随后送风。送风后不久，金属炉料开始熔化，同时形成熔渣，炉底开始积存铁水，铁水上面为炉渣口，打开出铁口，间隙地放出储存的铁水。在放铁水前，由出渣口排出炉渣，待最后一批铁水出炉后，即可停止鼓风并打开炉底放出剩余炉料。

（二）铸钢的熔炼

熔炼铸钢可以用电弧炉，也可以用感应电炉，目前使用较多的是感应电炉。为提高钢水的质量，还采用与炉外精炼技术相结合的工艺，如 AOD（氩氧脱碳精炼法）、VOD（真空氩氧脱碳精炼法）、VODC（真空氩氧脱碳转炉精炼法）等精炼方法。

中频无芯感应电炉的熔炼过程大致如下：在筑好并烘干的坩埚内按比例放入计算好的各种金属炉料（生铁、废钢、回炉料、部分铁合金等），先低功率（40%～60%）预热，待电流冲击停止后，再逐渐上升功率至最大值，以使金属炉料熔化；随着坩埚下部炉料熔化，经常注意捣料，防止“搭桥”，并陆续添加炉料；大部分炉料熔化后，加入造渣材料（一般用碎玻璃）造渣；炉料基本熔化完毕时，取钢样进行分析，并将其余炉料加入炉内；炉料全熔后，减小功率，扒渣，再另造新渣；然后再加入铁合金以脱氧和调整钢液化学成分；而后测量钢液温度（要求不低于 1 550 ℃），并检查钢液脱氧情况；待钢液化学成分及温度符合要求、脱氧情况良好时，再插入适量的铝进行终脱氧；停电，倾炉出钢。

（三）铸造非铁合金的熔炼

铸造非铁合金是指除铸铁、铸钢以外的铸造铝合金、铸造铜合金、铸造镁合金及铸造锌合金等。铸造非铁合金的熔炼炉的分类及用途如表 2–1 所示，熔炼操作要点如表 2–2 所示。

表 2–1　铸造非铁合金熔炼炉的分类与用途

类型		特点	用途
电炉	电阻炉	坩埚炉	熔炼铝合金、镁合金、低熔点轴承合金
		反射炉	
	感应炉	有芯工频感应炉	熔炼铜、铝、锌及其合金
		无芯工频感应炉	熔炼铜、铝、镁及其合金
		中频无芯感应炉	
		真空感应炉	熔炼铁、镍基高温合金
	电弧炉	真空电弧炉	
		真空电弧凝壳炉	熔炼钛、锆及其合金
熔炼燃料炉（固、液、气体）	坩埚炉	固定式、可倾式	熔炼铜、铝、镁及其合金
	反射炉		熔炼铜、铝合金

表 2-2 铸造非铁合金熔炼操作要点

合金类别	代表合金	熔炼工艺要点	备注
铝合金	ZL101 基本成分（%） Si：6.5～7.5 Mg：0.25～0.4	· 装料顺序：铝锭、铝硅中间合金、回炉料。升温熔化，搅拌，以钟罩压入镁锭 · 除气精炼：六氯乙烷用量为 0.5%～0.6%，处理温度为 730～750 ℃。六氯乙烷压成饼，分数次以钟罩压入 · 变质处理：2% 的三元或四元变质剂，处理温度为 730 ℃左右 · 扒渣、浇注。浇注温度为 690～740 ℃	· 金属型铸件和薄壁铸件可以不进行变质处理 · 镁的烧损因除气精炼而增大，配料时应适当增加用量
铜合金	锡青铜	· 熔化铜 · 熔清后升温至 1 200 ℃，加磷铜预脱氧（2/3 磷铜） · 依次加入回炉料、锌锭、锡块、铅 · 调整温度，加剩余磷铜 · 除气	· 可用氧化形溶剂除气或氮气除气
镁合金	镁铝系合金	· 加入预热的回炉料、镁锭、铝锭，升温熔化 · 升温至 700～720 ℃，加入中间合金和锌，熔化后搅拌均匀 · 升温至变质处理温度进行变质处理 · 除渣后调整温度至 710～740 ℃，精炼 5～8 min · 合金液升温至 760～780 ℃，静置 10～20 min · 降至浇注温度进行浇注	· 金属型铸件和薄壁铸件可以不进行变质处理 · 镁的烧损因除气精炼而增大，配料时应适当增加用量
锌合金	ZZnAl4CulY	· 加部分回炉料于堆埚底部，再依次加入锌、铜、铝、中间合金和部分回炉料。余下约 1/3～1/4 回炉料 · 升温熔化 · 炉料熔清后升温至 600 ℃左右，搅拌扒渣 · 待金属液温度达 650 ℃时，用钟罩压入所需的镁 · 用钟罩压入脱水的 $ZnCl_2$ 进行精炼，精炼温度不超过 450 ℃，$ZnCl_2$ 加入量为质量分数 0.05%～0.1% · 用 $ZnCl_2$ 处理后，静置 5～7 min，扒渣 · 出炉浇注，出炉温度为 400～450 ℃熔炼锌合金与熔炼铜合金的堆埚应严格分开	· 可用氧化形溶剂除气或氮气除气

二、合金的浇注

将盛在浇包内的金属液浇入已准备好的铸型中的工艺过程称为浇注。浇注时应注意：金属液应平稳注入，不断流，浇注后压铁和紧固工具不能取得过早。在浇注过程中最关键的问题是控制浇注温度和浇注速度。

（一）浇注温度的控制

浇注温度的高低对金属液充满型的能力和铸件的质量影响很大。温度过低，金属液流动性变差，容易产生冷隔和浇不足等缺陷。温度过高，会使铸件的金相组织增大，晶粒变粗，缩孔体积增大，而且容易产生气孔和氧化。合适的浇注温度应根据铸件结构和不同的铸造合金来确定，一般在各种合金浇注范围内，薄壁铸件需要流动性好，浇注温度高一些；而有色合金的金相组织对机械性能影响很大，晶粒粗大会使性能降低，还容易形成裂纹和气孔，所以有色金属的浇注温度不能太高。

（二）浇注速度的控制

较高的浇注速度，可使金属液更快地充满铸型，减少金属的氧化，对要求同时凝固的铸件有利于减小铸件各部分的温差；但浇注速度过高，金属液对铸型的冲刷力增大，容易产生冲砂。较低的浇注速度，能增大铸件各部分的温差，使铸件的缩孔集中而有利于补缩；但浇注速度过低，金属液浇入铸型后，型砂因受热时间长而易脱落，同时还会产生皱纹、冷隔、夹渣、砂眼等缺陷。浇注速度应根据铸件的具体情况而定，速度的快慢用浇注时间长短来衡量，浇注速度和浇注温度是相互影响的，浇注温度高时，浇注速度可小些，浇注温度低时，浇注速度应当大些；浇注薄件、小件时，浇注速度应大些。铸钢件浇注速度要比铸铁件大，有色合金铸件的浇注速度要求更大些。

（三）浇注的注意事项

（1）浇注前，必须清理浇注时行走的通道，预防意外跌撞、烫伤。

（2）在浇注前，必须预热浇注工具，烘干烘透浇包，检查合型是否紧固。

（3）浇注是高温操作，必须穿戴好劳保用品，必须注意安全。

（4）浇注时，浇包中金属液不能盛装太满，吊包液面应低于包口 100 mm 左右，抬包和端包液面应低于包口 60 mm 左右。

（5）在浇注时若发现跑火现象，应立即采取措施，同时还要保持细流浇注，不能中断。

（6）当铸件凝固后进入固态收缩阶段时，应及时卸去压铁，使铸件自由收缩，防止铸件产生变形或裂纹等缺陷。

第七节　落砂、清理和检验

落砂、清理和检验的内容包括：落砂、清除泥芯、去除浇冒口、铸件表面清理及进行检验、修补缺陷等工作。

一、铸件的落砂

从砂型中取出凝固的铸件的过程称为落砂，落砂的方法有手工落砂和机械落砂两种。落砂是最繁重的工作。落砂时尘土飞扬，而且花费工时，为了改善落砂条件，可采用水爆清砂的方法。

二、泥芯的清除

清除泥芯有手工清除和机械清除两种。清除泥芯采用的设备和新工艺，有气动落芯机、水力清砂以及水爆清砂等。

三、浇冒口的去除

对于脆性材料的中小型铸铁件的浇冒口，可采用手锤或大锤等工具敲击去除；对于一些韧性材料（如钢、有色合金）的铸件及有些铸铁件的浇冒口，则必须采用割据、氧气切割、电弧切割、等离子体切割等方法去除。

四、铸件的表面清理

铸件表面清理是去除铸件内外表面的粘砂，分型面和芯头处的披缝、毛刺、浇冒口的痕迹等。目前在实习时，还使用手工清理，清理使用的工具有凿子、锉刀、榔头等。

五、铸件的检验

铸件清理后应进行质量检验。可通过眼睛观察（或借助尖嘴锤）找出铸件表面的缺陷，如气孔、砂眼、粘砂、浇不足、冷隔等。对铸件内部的缺陷，可进行磁力探伤、压力试验、射线探伤、化学分析、金相组织检查、机械性能试验等。

第八节　铸件缺陷与质量分析

常见铸件缺陷的特征及产生原因见表 2-3。

表 2-3　常见铸件缺陷的特征及产生原因

名称	缺陷特征	产生的主要原因
气孔	铸件表面或内部出现的孔洞，孔的内壁光滑，常为梨形、圆形	· 型砂紧实度过高，透气性太差； · 型砂太湿，起模、修型时刷水过多； · 砂芯通气孔堵塞或型芯未烘干； · 浇注系统不正确，气体排不出
缩孔	铸件最后凝固处有形状不规则的明的或暗的孔洞，孔壁粗糙	· 冒口和冷铁设置不当，补缩不足； · 浇注温度过高，金属液收缩过大； · 铸件壁厚不均匀，无法有效补偿； · 金属液含气及含磷量太高
砂眼	铸件内部或表面有充满砂粒的孔眼，孔形不规则	· 型砂强度不够或局部没紧实，掉砂； · 型腔、浇口内散砂未吹净； · 合箱操作不当，引起掉砂； · 浇注系统不合理，冲坏砂型（芯）
渣眼	孔眼内充满熔渣，孔形不规则	· 浇注时没有挡渣； · 浇注温度太低，渣子不易上浮； · 浇注系统设置不合理，挡渣作用差
粘砂	铸件表面粘着一层难以除掉的砂粒，使表面粗糙	· 砂型舂得太松； · 浇注温度过高； · 型砂耐火性差
夹砂	铸件表面有一层凸起的金属片状物，表面粗糙，边缘锐利，在金属片和铸件之间夹有一层型砂	· 型砂受热膨胀，表层鼓起或开裂； · 型砂湿态强度较低； · 砂型局部过紧，水分过多； · 砂型局部烘烤严重； · 浇注温度过高，浇注速度过慢
冷隔	铸件上有未完全融合的缝隙，边缘呈圆角	· 浇注温度过低； · 浇注速度过慢或断流； · 浇道位置不当或尺寸过小
浇不足	铸件残缺，形状不完整	· 浇注温度太低； · 浇注时金属液量不够； · 浇道太小； · 未开出气口，金属液的流动受型内气体阻碍
错箱	铸件的一部分与另一部分在分型面处相互错开	· 合箱时，上、下砂型未对准； · 上、下砂型未夹紧； · 造型时，上、下模有错动
偏芯	铸件上孔偏斜或轴心线偏移	· 型芯变形或放置偏斜； · 浇道位置不对，金属液冲歪了型芯； · 合箱时，碰歪了型芯； · 制模样时，型芯头偏心

续表

名称	缺陷特征	产生的主要原因
裂纹	铸件裂开热裂：裂纹断面严重氧化，呈暗蓝色，外形曲折而不规则冷裂：裂纹断面不氧化，并发亮，有时有轻微氧化，呈连续直线状	· 铸件厚薄不均匀，冷却不一致； · 型砂、芯砂退让性差，阻碍铸件收缩而引起过大的内应力； · 浇注系统开设不当，阻碍铸件收缩； · 合金化学成分不当，收缩大

第九节　实训教学指导——铸造

一、实训名称

两箱整模手工造型实训。

二、实训目的

两箱整模手工造型实训，旨在让学生掌握两箱整模手工造型的操作流程与技能，熟悉砂型铸造工具的使用。通过实践，提升学生动手能力与问题解决能力，培养其严谨、细致的工作态度，加深对铸造工艺的理解。

三、思政元素

两箱整模手工造型实训蕴含丰富思政元素。从历史看，我国铸造源远流长，可激发学生民族自豪感。实训中，严谨操作防铸件缺陷，能培养责任意识。团队协作完成造型，可强化学生合作精神，引导其为制造业发展贡献力量。

四、实训内容与步骤

（一）造型前的准备工作

准备适合造型的模样、砂箱及造型工具。用大铁铲把型砂混合好，以备造型用。

1. 造下砂型

拿一个砂箱，并选择其较平整光滑的一面放在干净平整的台面上。模具分型面（最大的截面）朝下放于砂箱中间，拿两个定位销帽，开口朝下，放在砂箱两对角处，距离砂箱壁的距离以春砂棒能顺利穿过为宜。

整个砂型分三层做好。第一、二层只能用春砂棒春砂，第三层用春砂锤春砂。第一层放约半个砂箱高的型砂，放好型砂后，一只手按住定位销帽，另一只手抓住春砂棒上部用力春砂，先固定好定位销。然后沿着砂箱壁春击型砂，并按照由外向内的顺序多次来回春击，大部分型砂春紧，只留下表面一薄层松散型砂。

第二层型砂，与砂箱平齐即可。型砂放好后，用舂砂棒沿着砂箱壁交错来回舂几次，在模样上方再多舂几次。最后也只留下表面一层松散的型砂即可加第三层型砂。

第三层型砂加到高于砂箱 50 mm 左右即可，并且型砂必须堆成一个平台。手持舂砂锤的上部，从砂箱一角开始，按照纵向或横向顺序把型砂舂紧。舂砂时注意舂砂棒不要抬得太高，以避免振动太大把模样振松动。也不要舂到砂箱上，以避免损坏砂箱。型砂舂紧后，用刮砂棒刮掉高于砂箱的型砂，使砂型面与砂箱平齐。再用通气针扎上通气孔。模样上方扎半个砂箱深，其他地方扎三分之二个砂箱深。这样，下砂型就造好了。造成好的下砂型大约能承受 40 kg 左右的冲击力。

2. 造上砂型

把造好的下砂型翻转 180°，放于干净平整的工件台面上。放好定位销，放上直浇棒，直浇棒应放在没有定位销的砂箱对角线一旁，离模样大约一个舂砂棒的距离，约 20 mm，然后拿一个砂箱，把较光滑的一面朝下，放于下砂箱上，并使上下两个砂箱对齐，两个砂箱的两个把手位于同一侧。在下砂型上撒上分型砂（原砂），模样上不能撒分型砂。

捏一块直径为 15 mm 左右的砂块轻覆盖在模样的螺钉孔上，防止松散的型砂进入起模螺钉孔中。

整个上砂型也像下砂型一样，分三层做好。填砂和舂砂方法一样，只是舂砂力量要低于下砂型，造好上砂型大约能承受 30 kg 的冲击力。

（二）开浇注系统

浇注系统只有直浇道部分的形状由模样做出，其余部分都由人工手工开出。在造好上砂型开箱之前，沿直浇道棒的外围，开一个深度约为 30 mm 的漏斗形外浇口，修整表面，使其光滑流畅。外浇口做好后，用通气针扎上通气孔，注意外浇口上不能扎。深度约为砂箱的三分之二。然后轻敲直浇棒，并把它取出，再轻敲砂箱两把手，垂直平稳地拿开上砂型，翻转放于工作台面上。用手刷扫去分型面上的分型砂，用秋叶沿浇道中间与模样相切之处，开一个宽和深均为 10 mm 的内浇口，然后在内浇口和直浇道相接处开一个直径为 60 mm 左右的半圆形横浇道，其深度为 15 mm 左右，修整所有的浇道，使其光滑平整，保证金属液在里面流动时顺畅。

（三）起模、修型、合箱

浇注系统开设好后，用合适的螺钉拧进起螺钉孔中，然后轻敲螺钉下部，使模样松动，再提着螺钉，缓慢平衡地起出模样。

查看型腔是否有缺陷，如有缺陷必须进行修补。缺角的地方，加砂，放入模具重新压平，有裂纹和散砂的地方用提钩进行修整，使整个型腔光滑，其表面不能落有散砂。

检查型腔和浇注系统全部合格后，把上砂型翻转，盖在下砂型上，注意定位销的位置，以避免合箱时损坏造好的砂型。