

工程训练教程

(第2版)

主编 王鹏程

本教材按照教育部工程材料及机械制造基础课程指导委员会“工程训练教学基本要求”和国家教学指导委员会“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的基本精神,结合内蒙古工业大学“工程训练(A)”课程标准规定的教学内容、教学改革成果、教学实践经验以及实习设备条件,并参考兄弟院校教材编写而成。

本教材第 1 版 2014 年 5 月由北京理工大学出版社出版,迄今已在内蒙古工业大学“工程训练”课使用 5 年多。根据出版社要求和使用情况,由王鹏程、李海滨总负责组织完成了本教材第 2 版的修订再版工作。

本教材修订具有以下特点:

(1) 充分体现了“工程训练(A)”课教学内容的系统性,基本延续了第 1 版教材的体系、体例结构和编写特点。和第 1 版教材体系相比较,全书内容调整为共 16 章,锻造和冲压合编为一章,取消了塑料成型,增加了激光加工;根据技术发展和设备更新,重新编写了快速成型技能训练、机器人创新技术等。

(2) 保持“基本知识”和“技能训练”的编写方式,明确“应知”和“应会”两大部分内容,以方便教学使用。

(3) 根据需要调整了部分章节的编者。

本书共分 17 章,由内蒙古工业大学王鹏程担任主编并统稿。担任各章编写工作的教师均是内蒙古工业大学工程训练中心“工程训练(A)”课的教师。具体分工为:王鹏程编写绪论,郭长青编写第 1 章,赵锦龙编写第 2 章,左巍编写第 3 章,白川编写第 4 章,王利利编写第 5 章、王景磊编写第 6 章、第 7 章,刘海亮编写第 8 章和 15.1,赵昆编写第 9 章,葛素霞编写第 10 章,万华编写第 11 章,曲宝福编写第 12 章,王东辉编写第 13 章,庞博编写 14.1 和 14.6,张海川编写 14.2~14.5,郭文霞编写 15.2,贾翠玲编写第 16 章。

本书主要用于机械类本科专业“工程训练”课使用,也可选作为机械/非机械类专业金工实习教学的参考书。

目 录

CONTENTS

| | |
|-----------------------------|-----|
| 0 绪论 | 001 |
| 0.1 工程训练 | 001 |
| 0.1.1 机械制造过程 | 001 |
| 0.1.2 工程训练内容 | 002 |
| 0.2 工程训练的教学环节 | 002 |
| 0.3 工程训练目的 | 002 |
| 0.4 工程训练要求 | 003 |
| 0.4.1 工程训练的学习要求 | 003 |
| 0.4.2 工程训练的安全要求 | 004 |
| 第1章 机械工程材料及热处理 | 005 |
| 1.1 基本知识 | 005 |
| 1.1.1 常用钢铁的分类和编号 | 005 |
| 1.1.2 常用有色金属的分类和编号 | 009 |
| 1.1.3 常用热处理设备 | 012 |
| 1.1.4 钢的常用热处理工艺 | 015 |
| 1.1.5 金属材料的工艺性能 | 022 |
| 1.2 技能训练 | 023 |
| 1.2.1 钢铁材料的火花鉴别方法 | 023 |
| 1.2.2 硬度计的结构和使用方法 | 026 |
| 1.2.3 热处理综合技能训练 | 029 |
| 思考与练习题..... | 031 |
| 第2章 铸造 | 032 |
| 2.1 基本知识 | 032 |
| 2.1.1 铸造概述 | 032 |
| 2.1.2 砂型铸造 | 033 |

| | | |
|------------|--------------------|------------|
| 2.1.3 | 合型 | 043 |
| 2.1.4 | 铸造合金的熔炼、种类及常用的熔炼设备 | 044 |
| 2.1.5 | 铸造合金的浇注 | 046 |
| 2.1.6 | 铸件的落砂与清理 | 046 |
| 2.1.7 | 特种铸造 | 047 |
| 2.2 | 技能训练 | 050 |
| 2.2.1 | 手工造型操作练习 | 050 |
| 2.2.2 | 型芯制作操作练习 | 050 |
| 2.2.3 | 砂型铸造综合技能训练 | 050 |
| | 思考与练习题 | 050 |
| 第3章 | 锻造与冲压 | 051 |
| 3.1 | 锻造的基本知识 | 051 |
| 3.1.1 | 锻造的方法分类 | 051 |
| 3.1.2 | 坯料的加热 | 051 |
| 3.1.3 | 空气锤 | 054 |
| 3.1.4 | 自由锻的基本工序及其操作要点 | 056 |
| 3.1.5 | 自由锻成型工艺 | 061 |
| 3.2 | 技能训练 | 064 |
| 3.2.1 | 自由锻锻粗练习 | 064 |
| 3.2.2 | 自由锻拔长练习 | 064 |
| 3.3 | 冲压的基本知识 | 064 |
| 3.3.1 | 冲压设备 | 065 |
| 3.3.2 | 冲模 | 067 |
| 3.3.3 | 冲压基本工序 | 068 |
| 3.4 | 技能训练 | 072 |
| 3.4.1 | 冲压设备的操作演示 | 072 |
| 3.4.2 | 冲压综合技能训练 | 072 |
| | 思考与练习题 | 072 |
| 第4章 | 焊接 | 073 |
| 4.1 | 基本知识 | 073 |
| 4.1.1 | 焊接概述 | 073 |
| 4.1.2 | 焊条电弧焊 | 073 |
| 4.1.3 | 气焊与气割 | 082 |
| 4.1.4 | 埋弧自动焊、气体保护焊、电阻焊、钎焊 | 088 |
| 4.2 | 技能训练 | 093 |
| 4.2.1 | 焊条电弧焊基本操作练习 | 093 |
| 4.2.2 | 气焊及气割操作演示 | 094 |
| | 思考与练习题 | 095 |

| | |
|------------------------------|-----|
| 第 5 章 机械加工精度及检测 | 097 |
| 5.1 基本知识 | 097 |
| 5.1.1 机械加工精度 | 097 |
| 5.1.2 加工精度检测量具 | 099 |
| 5.1.3 三坐标测量机 | 106 |
| 5.2 技能训练 | 107 |
| 5.2.1 游标卡尺的使用 | 107 |
| 5.2.2 外径千分尺的使用 | 107 |
| 5.2.3 百分表的使用 | 107 |
| 思考与练习题 | 108 |
| 第 6 章 切削加工基本知识 | 109 |
| 6.1 切削加工概述 | 109 |
| 6.1.1 切削加工的实质和分类 | 109 |
| 6.1.2 机床的切削运动 | 109 |
| 6.1.3 切削用量三要素 | 110 |
| 6.1.4 传统切削加工的局限性 | 111 |
| 6.2 切削刀具 | 111 |
| 6.2.1 刀具材料 | 111 |
| 6.2.2 刀具角度 | 113 |
| 6.2.3 刀具的刃磨 | 116 |
| 思考与练习题 | 116 |
| 第 7 章 车削 | 117 |
| 7.1 基本知识 | 117 |
| 7.1.1 车床及其附件 | 118 |
| 7.1.2 车床操作要点 | 122 |
| 7.1.3 外圆和端面的加工 | 123 |
| 7.1.4 孔的加工 | 124 |
| 7.1.5 切槽和切断 | 125 |
| 7.1.6 车削圆锥面 | 126 |
| 7.1.7 车成型面和滚花 | 127 |
| 7.1.8 车螺纹 | 128 |
| 7.2 技能训练 | 130 |
| 7.2.1 普通卧式车床的基本操作方法 | 130 |
| 7.2.2 装配式锤柄的车削加工 | 136 |
| 思考与练习题 | 140 |
| 第 8 章 铣削 | 141 |
| 8.1 基本知识 | 141 |
| 8.1.1 铣床 | 142 |

| | | |
|-------------|-------------------|------------|
| 8.1.2 | 铣刀及其安装 | 146 |
| 8.1.3 | 铣床附件及工件装夹 | 148 |
| 8.1.4 | 铣削基本工作 | 152 |
| 8.2 | 技能训练 | 156 |
| 8.2.1 | 平面、斜面的铣削 | 156 |
| 8.2.2 | 台阶面、直角沟槽的铣削 | 158 |
| 8.2.3 | 成型沟槽的铣削 | 160 |
| 8.2.4 | 分度头装夹的零件铣削 | 161 |
| 8.2.5 | 铣工综合技能训练 | 162 |
| | 思考与练习题 | 162 |
| 第9章 | 刨削 | 163 |
| 9.1 | 基本知识 | 163 |
| 9.1.1 | 刨床 | 164 |
| 9.1.2 | 刨刀及其安装 | 169 |
| 9.1.3 | 工件的装夹 | 171 |
| 9.1.4 | 刨削基本工作 | 173 |
| 9.2 | 技能训练 | 175 |
| 9.2.1 | 平面的刨削 | 175 |
| 9.2.2 | 刨工综合技能训练 | 177 |
| | 思考与练习题 | 178 |
| 第10章 | 磨削 | 180 |
| 10.1 | 基本知识 | 180 |
| 10.1.1 | 磨削加工简介 | 180 |
| 10.1.2 | 磨床 | 181 |
| 10.1.3 | 砂轮 | 185 |
| 10.1.4 | 磨削基本工作 | 188 |
| 10.2 | 技能训练 | 191 |
| 10.2.1 | 外圆磨削 | 191 |
| 10.2.2 | 平面磨削操作 | 192 |
| | 思考与练习题 | 194 |
| 第11章 | 钳工 | 195 |
| 11.1 | 基本知识 | 195 |
| 11.1.1 | 钳工入门知识 | 195 |
| 11.1.2 | 划线 | 196 |
| 11.1.3 | 锯削 | 199 |
| 11.1.4 | 锉削 | 201 |
| 11.1.5 | 钻孔、扩孔和铰孔 | 208 |
| 11.1.6 | 攻螺纹与套螺纹 | 213 |

| | |
|-------------------------|------------|
| 11.1.7 拆卸与装配 | 217 |
| 11.2 技能训练 | 219 |
| 11.2.1 平面划线、立体划线 | 219 |
| 11.2.2 锯削、锉削 | 220 |
| 11.2.3 钻孔、扩孔和铰孔 | 221 |
| 11.2.4 攻螺纹、套螺纹 | 221 |
| 11.2.5 拆卸和装配 | 221 |
| 11.2.6 钳工综合技能训练 | 223 |
| 思考与练习题 | 223 |
| 第12章 数控车床加工 | 225 |
| 12.1 基本知识 | 225 |
| 12.1.1 数控车床的种类 | 225 |
| 12.1.2 数控车床的组成和功能 | 225 |
| 12.1.3 主要用途、适用范围和规格 | 226 |
| 12.1.4 数控车床编程 | 227 |
| 12.2 技能训练 | 240 |
| 12.2.1 数控车外轮廓 | 240 |
| 12.2.2 数控车内轮廓 | 243 |
| 12.2.3 数控车螺纹 | 244 |
| 12.2.4 数控车综合技能训练 | 246 |
| 思考与练习题 | 254 |
| 第13章 数控铣床与加工中心操作 | 256 |
| 13.1 基本知识 | 256 |
| 13.1.1 数控铣削加工工艺 | 256 |
| 13.1.2 数控铣床编程 | 257 |
| 13.1.3 数控铣床自动编程简介 | 269 |
| 13.1.4 加工中心简介 | 272 |
| 13.2 技能训练 | 273 |
| 13.2.1 铣削内外轮廓 | 273 |
| 13.2.2 钻削孔 | 274 |
| 13.2.3 数控铣综合技能训练 | 276 |
| 思考与练习题 | 277 |
| 第14章 特种加工 | 279 |
| 14.1 特种加工概述 | 279 |
| 14.1.1 特种加工的产生与发展 | 279 |
| 14.1.2 特种加工的特点 | 279 |
| 14.1.3 特种加工的分类 | 279 |
| 14.1.4 特种加工的应用 | 280 |

| | | |
|-------------|--------------------|------------|
| 14.2 | 电火花线切割加工基本知识 | 281 |
| 14.2.1 | 电火花线切割加工原理 | 281 |
| 14.2.2 | 数控电火花线切割加工的特点及应用 | 281 |
| 14.2.3 | 数控电火花线切割加工机床 | 282 |
| 14.2.4 | 数控电火花线切割加工工艺基础 | 285 |
| 14.2.5 | 数控电火花线切割加工程序的编制 | 288 |
| 14.2.6 | 数控电火花线切割加工偏移补偿值的计算 | 291 |
| 14.3 | 电火花线切割加工技能训练 | 291 |
| 14.4 | 电火花成型加工基本知识 | 297 |
| 14.4.1 | 电火花成型加工技术基础 | 297 |
| 14.4.2 | 电火花成型机床的结构和组成 | 299 |
| 14.4.3 | 电火花成型加工工艺规律 | 301 |
| 14.4.4 | 电火花成型加工的工具电极和工作液 | 304 |
| 14.5 | 技能训练 | 307 |
| 14.6 | 激光加工技术 | 310 |
| 14.6.1 | 激光加工技术概述 | 310 |
| 14.6.2 | 激光内雕基本知识 | 312 |
| 14.6.3 | 激光内雕技能训练 | 315 |
| 14.6.4 | 激光切割基本知识 | 316 |
| 14.6.5 | 激光切割技能训练 | 320 |
| 14.6.6 | 激光打标基本知识 | 321 |
| 14.6.7 | 激光打标技能训练 | 323 |
| | 思考与练习题 | 323 |
| 第15章 | 快速成型 | 325 |
| 15.1 | 基本知识 | 325 |
| 15.1.1 | 快速成型技术的原理 | 325 |
| 15.1.2 | 快速成型的特点及应用 | 327 |
| 15.1.3 | 快速成型的主要工艺方法 | 328 |
| 15.2 | 技能训练 | 331 |
| 15.2.1 | MEM 熔融沉积成型系统 | 331 |
| 15.2.2 | UP BOX + 打印机的构造 | 332 |
| 15.2.3 | 建模软件和模型处理软件 | 333 |
| 15.2.4 | MEM 熔融沉积成型操作演示 | 335 |
| | 思考与练习题 | 337 |
| 第16章 | 机器人创新教学 | 338 |
| 16.1 | 基本知识 | 338 |
| 16.1.1 | 机器人概述 | 338 |
| 16.1.2 | 智能车简介 | 343 |

| | |
|--------------------------|-----|
| 16.1.3 类人机器人套装 | 353 |
| 16.1.4 卓越之星——机器人创意搭接套件 | 356 |
| 16.2 技能训练 | 371 |
| 16.2.1 智能车的软件编程应用实践 | 371 |
| 16.2.2 类机器人的开发应用 | 386 |
| 16.2.3 卓越之星——机器人创意搭接套件实例 | 398 |
| 思考与练习题 | 399 |
| 附录 | 400 |
| JC 库函数 | 400 |
| 参考文献 | 402 |

0

绪 论

0.1 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。

0.1.1 机械制造过程

工程训练涉及一般机械制造生产的全过程。机械制造生产的基本工艺过程如图 0-1 所示。



图 0-1 机械制造生产的基本工艺过程

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。

0.1.2 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。

0.2 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。

(1) 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。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 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。

(5) 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。

(6) 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。

0.3 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。

1. 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。

2. 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。

3. 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。

4. 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。

0.4 工程训练要求

0.4.1 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,理论联系实际学习,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。

0.4.2 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。

要遵守实习车间和实验室规章制度，严格遵守各种设备的安全操作规程；严格遵守实习车间着装行为规定，如按规定穿戴工作服，女（或长发）同学要戴工作帽，夏天不准穿凉鞋；在热加工现场要穿劳保鞋，在焊接现场要穿防护袜；在旋转机床上操作时要戴防护眼镜，不准戴手套；在实习现场要注意上下左右，不得打闹和乱跑，避免碰伤、砸伤和烧伤；未经许可不得擅自用非当前实习工种的机床、设备、工（夹、量、模）具；发生安全事故时要立即切断电源，保护现场，及时上报。

第 1 章

机械工程材料及热处理

1.1 基本知识

1.1.1 常用钢铁的分类和编号

1. 钢的分类和编号

(1) 金属的分类

1) 黑色金属。

黑色金属是指铁和铁的合金，如钢、生铁、铁合金、铸铁等。钢和生铁都是以铁为基础，以碳为主要添加元素的合金，统称为铁碳合金。

生铁是指把铁矿石放到高炉中冶炼而成的产品，主要用来炼钢和制造铸件。

把铸造生铁放在熔铁炉中熔炼，即得到铸铁（液状， $w(\text{C}) > 2.11\%$ 的铁碳合金），把液状铸铁浇铸成铸件，称为铸铁件。

铁合金是由铁与硅、锰、铬、钛等元素组成的合金，铁合金是炼钢的原料之一，在炼钢时作为钢的脱氧剂和合金元素添加剂。

$w(\text{C}) < 2.11\%$ 的铁碳合金称为钢，把炼钢用生铁放到炼钢炉内按一定工艺熔炼，即得到钢。钢的产品有钢锭、型材、连铸坯和直接铸成的各种钢铸件等。

2) 有色金属。

有色金属又称非铁金属，指除黑色金属外的金属和合金，如铜、锡、铅、锌、铝及其合金，黄铜、青铜和轴承合金等。另外在工业上还采用铬、镍、锰、钼、钴、钒、钨、钛等，这些金属主要用作合金附加物，以改善金属的性能，其中钨、钛、钼等多用作生产刀具的硬质合金。

(2) 钢的分类

钢的主要元素除铁、碳外，还有硅、锰、硫、磷等。钢的分类方法多种多样，其主要方法有以下六种。

1) 按品质分类。

①普通钢 ($w(\text{P}) \leq 0.045\%$, $w(\text{S}) \leq 0.050\%$) ;

②优质钢 ($w(\text{P})$, $w(\text{S}) \leq 0.035\%$) ;

③高级优质钢 ($w(\text{P}) \leq 0.035\%$, $w(\text{S}) \leq 0.030\%$) 。

2) 按化学成分分类。

①碳素钢。

a. 低碳钢 ($w(C) \leq 0.25\%$); b. 中碳钢 ($w(C) \leq 0.25\% \sim 0.60\%$); c. 高碳钢 ($w(C) > 0.60\%$)。

②合金钢。

a. 低合金钢 (合金元素总含量 $\leq 5\%$); b. 中合金钢 (合金元素总含量 $> 5\% \sim 10\%$); c. 高合金钢 (合金元素总含量 $> 10\%$)。

3) 按成型方法分类。

①锻钢; ②铸钢; ③热轧钢; ④冷拉钢。

4) 按金相组织分类。

①退火状态的钢: a. 亚共析钢 (铁素体 + 珠光体); b. 共析钢 (珠光体); c. 过共析钢 (珠光体 + 渗碳体); d. 莱氏体钢 (珠光体 + 渗碳体)。

②正火状态的钢: a. 珠光体钢; b. 贝氏体钢; c. 马氏体钢; d. 奥氏体钢。

③无相变或部分发生相变的钢。

5) 按用途分类。

①建筑及工程结构用钢。

a. 普通碳素结构钢: (a) Q195; (b) Q215 (A、B); (c) Q235 (A、B、C); (d) Q255 (A、B); (e) Q275。

b. 低合金结构钢, 如低合金高强度结构钢 Q345C 和 Q345D。

②机械结构钢。

a. 机械制造用钢: (a) 调质钢; (b) 表面硬化钢, 包括渗碳钢、渗氮钢、表面淬火用钢; (c) 易切削钢; (d) 冷塑性成型用钢, 包括冷冲压用钢、冷镦用钢。

b. 弹簧钢。

c. 轴承钢。

③工具钢: a. 碳素工具钢; b. 合金工具钢; c. 高速工具钢。

④特殊性能钢: a. 不锈钢; b. 耐热钢, 包括抗氧化钢、热强钢、气阀钢; c. 电热合金钢; d. 耐磨钢; e. 低温用钢; f. 电工用钢。

⑤专业用钢, 如桥梁用钢、船舶用钢、锅炉用钢、压力容器用钢、农机用钢等。

6) 按冶炼方法分类。

①按炉种分。

a. 转炉钢: (a) 酸性转炉钢; (b) 碱性转炉钢; (c) 底吹转炉钢; (d) 侧吹转炉钢; (e) 顶吹转炉钢。

b. 电炉钢: (a) 电弧炉钢; (b) 电渣炉钢; (c) 感应炉钢; (d) 真空自耗炉钢; (e) 电子束炉钢。

②按脱氧程度和浇注制度分。

a. 沸腾钢; b. 半镇静钢; c. 镇静钢; d. 特殊镇静钢。

(3) 我国钢号表示方法

1) 我国钢号表示方法概述。

钢的牌号简称钢号, 是对每一种具体钢产品所取的名称。我国钢号表示方法根据 GB/T 221—2008《钢铁产品牌号表示方法》中规定执行。

钢铁产品牌号一般采用汉语拼音字母、化学元素符号和阿拉伯数字相结合的方法表示,即:

①钢号中化学元素采用国际化学符号表示,例如 Si, Mn, Cr 等。混合稀土元素用“RE”或“Xt”表示。

②产品名称、用途、冶炼和浇注方法等,一般采用汉语拼音的缩写字母表示。

③钢中主要化学元素含量(%)采用阿拉伯数字表示。

采用汉语拼音字母表示产品名称、用途、特性和工艺方法时,一般从代表产品名称的汉语拼音中选取第一个字母。当和另一个产品所选用的字母重复时,可改用第二个字母或第三个字母,或同时选取两个汉字中的第一个汉语拼音字母。

暂时没有可采用的汉字及汉语拼音的,采用符号为英文字母。

2) 我国常用钢钢号表示方法的说明。

①碳素结构钢和低合金高强度结构钢牌号表示方法。

碳素结构钢和低合金高强度结构钢通常分为通用钢和专用钢两大类。牌号由钢的屈服点或屈服强度的汉语拼音字母、屈服点或屈服强度数值、钢的质量等级等部分组成,有的钢加表示脱氧方法的符号,则是由4个部分组成。

a. 通用结构钢采用代表屈服点的拼音字母“Q”,屈服点数值(单位为MPa)、规定的质量等级(A、B、C、D、E)和脱氧方法(F、b、Z、TZ)等符号,按顺序组成牌号。例如碳素结构钢牌号表示为Q235AF和Q235BZ;低合金高强度结构钢牌号表示为Q345C和Q345D。

Q235BZ表示屈服点数值 ≥ 235 MPa,质量等级为B级的镇静碳素结构钢。

Q235和Q345这两个牌号是工程用钢最典型、生产和使用量最大、用途最广泛的牌号。这两个牌号世界各国几乎都有。

碳素结构钢的牌号组成中,镇静钢符号“Z”和特殊镇静钢符号“TZ”可以省略,例如:质量等级分别为C级和D级的Q235钢,其牌号表示应为Q235CZ和Q235DTZ,但可以简写为Q235C和Q235D。

b. 低合金高强度结构钢有镇静钢和特殊镇静钢,但牌号尾部不加写表示脱氧方法的符号。

专用结构钢一般采用代表钢屈服点的符号“Q”、屈服点数值和规定代表产品用途的符号等表示,例如:压力容器用钢牌号表示为Q345R;耐候钢牌号表示为Q340NH;焊接气瓶用钢牌号表示为Q295HP;锅炉用钢牌号表示为Q390g;桥梁用钢牌号表示为Q420q。

c. 根据需要,通用低合金高强度结构钢的牌号也可以采用两位阿拉伯数字(表示平均含碳量,以万分之几计)和化学元素符号,按顺序表示;专用低合金高强度结构钢的牌号也可以采用两位阿拉伯数字(表示平均含碳量,以万分之几计)、化学元素符号以及规定代表产品用途的符号,按顺序表示。

②优质碳素结构钢和优质碳素弹簧钢牌号表示方法。

优质碳素结构钢采用两位阿拉伯数字(以万分之几表示平均含碳量)表示牌号或用阿拉伯数字、元素符号和规定的符号组合成牌号。

a. 沸腾钢和半镇静钢,在牌号尾部分别加符号“F”和“b”。例如: $w(C) = 0.08\%$ 的沸腾钢,其牌号表示为“08F”; $w(C) = 0.10\%$ 的半镇静钢,其牌号表示为“10b”。