



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

热加工实习

(机械加工技术专业)

林 峰 主编



机械工业出版社



本书介绍了在热加工实习中所涉及到的各种加工的基本原理、操作方法和加工实例。全书分六部分,包括以下内容:绪论、金属材料及其力学性能、铸造、锻造、焊接、热处理等。

本书可供中等职业学校机械加工技术及其他机械类、机电类专业学生和实习工厂教师使用,也可作为各类成人中专、岗位培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

热加工实习/林峰主编. —北京:机械工业出版社, 2002. 7

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-111-10520-6

I. 热... II. 林... III. 热加工—实习—专业学校—教材

IV. TG306

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 050653 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:郑丹 常燕宾 版式设计:冉晓华 责任校对:张媛

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm/16 · 4.75 印张·111 千字

0 001—3 000 册

定价:6.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 10 月

前 言

本书是根据 2000 年 12 月教育部颁发的中等职业学校 3 年制机械加工技术专业“热加工实习教学大纲”，遵循浅显易懂、少而精、理论联系实际和学以致用原则，结合热加工实习教学经验编写而成。编写中汲取了其它同类教材的特色，对有关内容进行了合理的取舍和增删，以“必须、够用”为度。

本书的重点是以指导学生独立操作为主，并围绕实习内容较系统地介绍了机械制造过程中金属热加工的主要方法、常用工具和设备等基础知识。可供学生结合实习过程自学和复习用。

本书由广东省机械学校林峰编写。由教育部指定主审。在编写过程中得到广东省机械学校梅沪光、朱焕池两位同志的帮助，在此一并表示感谢。

由于编者的水平有限，书中难免出现错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2001 年 12 月

目 录

前言		
绪论	1	
第一章 金属材料及其力学性能	3	
第一节 金属材料的力学性能	3	
第二节 常用金属材料	5	
第三节 金属材料选择的原则与步骤	11	
第二章 铸造	15	
第一节 入门指导	15	
第二节 手工造型	16	
第三节 造型材料	25	
第四节 型芯的制造	27	
第五节 铸铁的熔炼及浇注	29	
第六节 铸件的落砂、清理及废品分析	32	
第七节 模样的基本知识及模样制作	34	
第三章 锻造	36	
第一节 入门指导	36	
第二节 自由锻	37	
第三节 模锻与胎模锻	43	
第四章 焊接	45	
第一节 入门指导	45	
第二节 手工电弧焊	46	
第三节 气焊与气割	53	
第五章 热处理	57	
第一节 入门指导	57	
第二节 常用热处理方法	59	
第三节 热处理常见缺陷分析	66	
主要参考文献	68	

(2) 培养实践能力 对学生而言,具有一定的动手能力,运用所学知识和技能去独立分析、亲自解决一般工艺技术问题的能力,是十分重要的。由于热加工实习是一门实践性很强的课程,直接参加工厂的生产实践,接触机械制造的生产过程,使用各种工具,为培养实践能力创造了良好的条件和环境。

(3) 训练良好作风 由于实习是在生产实践的特殊环境下进行的，必然对学生在思想观念和作风上产生较大的影响。在实习中，要自觉地进行思想和作风方面的锻炼，向工人学习，培养劳动观点，加深对理论联系实际重要性的认识，加强组织性和纪律性，训练良好的作风，努力提高自己的全面素质。

二、实习安全技术

在实习过程中经常接触到加热炉、冲天炉、压力机、焊机、砂轮机等设备。为了避免触电、机械伤害、爆炸、烫伤和中毒等工伤事故，实习人员必须严格遵守工艺操作规程，才能确保实习人员的安全。

1. 文明生产实习

实习中必须自觉遵守实习工厂的劳动纪律，严格遵守安全操作规程。工作前必须穿好工作服，戴好防护用品；坚守工作岗位，不得擅自离岗；操作时必须思想集中，遵循工艺规程，尊重指导老师和工人师傅；零件堆放要整齐，周围场地要保持整洁；工作结束后，设备和工具必须清理，打扫周围环境，做好交接班工作。

2. 坚持安全教育制度

实习工厂必须坚持安全教育制度，对学生负责，对学校负责。在学生进厂后，由实习工厂安全员负责，首先安排安全教育，其主要内容为：

- 1) 安全规则；
- 2) 防火、防爆、防毒安全；
- 3) 实习车间安全用电；
- 4) 热加工安全知识；
- 5) 常见事故及其教训。

参加实习的学生必须认真学习安全知识后方能上岗。

第一章 金属材料及其力学性能

生产中用以制造各种机械零件的材料统称为机械工程材料。一般将其分为两大类：金属材料和非金属材料。在机械工业生产中，普遍使用钢铁、铜、铝等金属材料。金属材料之所以获得广泛的应用，主要是由于它具有良好的物理、化学、力学和工艺性能。

一般机械零件常以力学性能作为设计和选材的依据。

第一节 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属材料在外力作用下所表现出来的特性，包括强度、塑性、硬度、韧性等。

一、强度

金属材料在载荷作用下抵抗产生塑性变形和断裂的能力，称为强度。

拉伸试验是测定材料强度最常用的方法。金属材料通过拉伸试验即可测得材料的屈服点 σ_s 和抗拉强度 σ_b ，屈服点 σ_s 和抗拉强度 σ_b 是机械零件设计和选材的主要依据之一。

二、塑性

金属材料在断裂前产生永久变形的能力称为塑性。常用的塑性指标有伸长率 δ 和断面收缩率 ψ ，它们都可以用拉伸试验测定。

塑性指标的大小与试样尺寸有关。为了方便比较，必须采用标准试样。

伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 值愈大，表示材料塑性愈好。

良好的塑性是材料能进行各种压力加工（如冲压、挤压、冷拔、热轧、锻造等）的必要条件。此外，零件使用时，为了避免由于超载引起突然断裂，也需具有一定的塑性。

三、硬度

硬度是指金属材料抵抗外物压入其表面的能力，其大小在硬度计上测定。常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

1. 布氏硬度

布氏硬度试验是用直径为 D 的钢球或硬质合金球作压头，在压力 F 作用下压入试样表面（图 1-1a），经规定的保持时间后，卸除压力，测量压痕直径 d （图 1-1b）。根据压力、压痕直径，用下式可求出布氏硬度值 HBS（HBW）。

$$HBS(HBW) = \frac{F}{A} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

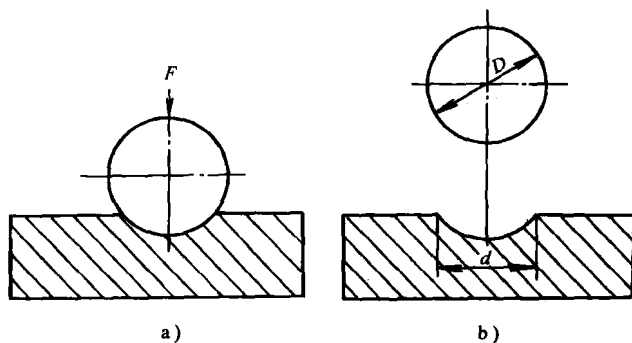


图 1-1 布氏硬度试验原理

式中, F 是压力 (N); A 是压痕的面积 (mm^2); D 是球体直径 (mm); d 是压痕直径 (mm)。HBS (HBW) 是布氏硬度值 (MPa)。

压头为淬火钢球时符号用 HBS; 压头为硬质合金球时符号用 HBW。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验是用顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588mm 的钢球作压头, 在初载荷 F_0 及总载荷 F (初载荷 F_0 + 主载荷 F_1) 分别作用下压入被测材料表面 (图 1-2a、b), 然后卸除主载荷, 在初载荷下测量压痕深度残余增量 e , 计算硬度值 (图 1-2c)。试验时, 可通过洛氏硬度计上的刻度盘直接读出洛氏硬度值。

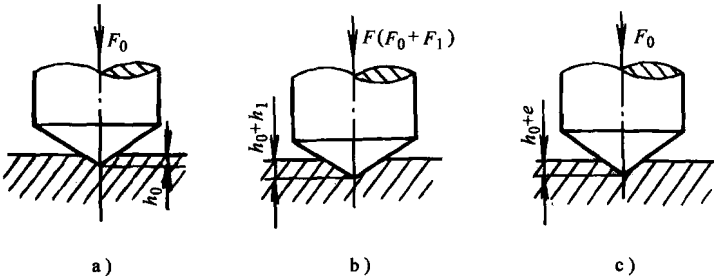


图 1-2 洛氏硬度试验原理

根据所用的压头和载荷不同, 洛氏硬度有几种硬度标尺, 常用的有 A、B、C 三种标尺。如表 1-1 所示。

表 1-1 三种洛氏硬度符号、试验条件和应用举例

符号	压头	主载荷/N	测量范围	应用举例
HRA	顶角 120° 金刚石圆锥体	588	70~88	硬质合金、表面淬火钢
HRB	直径 1.588mm 钢球	980	25~100	退火钢、灰铸铁、有色金属等
HRC	顶角 120° 金刚石圆锥体	1470	20~60	淬火钢、调质钢

3. 维氏硬度

维氏硬度的试验原理是用顶角为 136° 的金刚石正四棱锥体, 压入试样表面。以单位压痕面积上所受的壓力为维氏硬度值 (HV), 可通过下式计算:

$$HV = \frac{F}{A} = 0.1891 \frac{F}{D^2}$$

式中, F 是压力 (N); A 是压痕面积 (mm^2); D 是压痕两对角线长度算术平均值 (mm); HV 是维氏硬度值 (MPa)。

布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度之间没有直接的换算公式, 需要时可以通过查表进行换算。

硬度试验方法简便易行, 测量迅速, 不需要特别试样, 试验后零件一般不被破坏。因此, 硬度试验在工业生产中应用十分广泛。

四、韧性

韧性是指在冲击载荷作用下金属材料抵抗破坏的能力。

冲击韧度是韧性指标之一。冲击韧度的测定在冲击试验机上进行。试验时, 把冲击试样 (图 1-3) 放在摆锤冲击试验机 (图 1-4) 的支座上, 然后抬起摆锤, 让它从一定高度 h_1 落下,

将试样打断，摆锤又升到 h_2 的高度。冲击韧度用下式计算：

$$\alpha_K = \frac{A_K}{S}$$

式中， A_K 是打断试样所消耗的冲击吸收功 (J)， $A_K = G(h_1 - h_2)$ ； S 是冲击试样断口处的横截面积 (cm^2)； α_K 是冲击韧度 (J/cm^2)。

α_K 值越大，表示材料的韧性越好，在受到冲击时越不容易断裂。

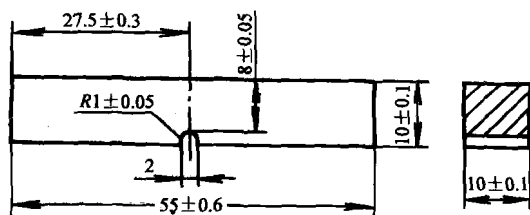


图 1-3 冲击试样

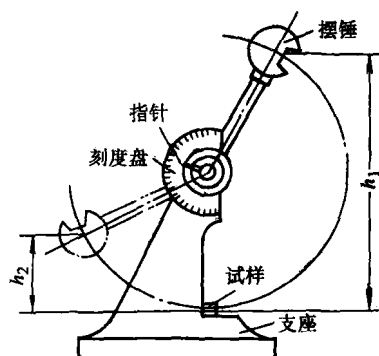


图 1-4 摆锤冲击试验机示意图

第二节 常用金属材料

一、钢

(一) 钢的分类

钢的分类方法很多，常用的是以下三种：

1. 按化学成分分类

根据钢的化学成分可分为碳素钢和合金钢两大类。

(1) 碳素钢 碳素钢是指碳的质量分数 w_C 小于 2.11% 的铁碳合金。实际使用的碳素钢中除含有铁和碳两种主要元素以外，还存在有锰、硅、硫、磷等杂质元素。碳素钢按含碳量可分为：低碳钢 (w_C 小于 0.25%)、中碳钢 (w_C 为 0.25%~0.60%)、高碳钢 (w_C 大于 0.60%)。

(2) 合金钢 炼钢时加入一定量的某一种或几种合金元素得到的钢称为合金钢。根据加入的合金元素总质量分数 w_{Me} ，合金钢可分为：低合金钢 (w_{Me} 小于 5%)、中合金钢 (w_{Me} 为 5%~10%)、高合金钢 (w_{Me} 大于 10%)。

2. 按用途分类

按钢的用途分为三类：

(1) 结构钢 结构钢用于制造各种机器零件及工程结构。制造机器零件的钢还可分为渗碳钢、调质钢、弹簧钢、滚动轴承钢等。制造工程结构的钢包括碳素结构钢和低合金结构钢等。

(2) 工具钢 工具钢用于制造各种工具。根据工具的用途又可分为刀具钢、模具钢和量具钢。

(3) 特殊性能钢 特殊性能钢是具有特殊物理性能或化学性能的钢，包括不锈钢、耐热钢、耐磨钢等。

3. 按品质分类

钢材品质的优劣是按钢中硫、磷含量多少来区分的，可分为普通钢、优质钢和高级优质钢等。

(二) 常用钢材的编号

1. 碳素结构钢

碳素结构钢的 w_c 在 0.06%~0.38% 之间，硫、磷含量较高，一般在供应态下使用，不需进行热处理。这类钢的塑性、韧性好，适于用作钢筋、钢板等建筑用材和一般机械构件。

碳素结构钢的牌号由屈服点字母 Q、屈服点数值、质量等级符号、脱氧方法符号等四部分按顺序组成。

钢的质量等级分 A、B、C、D 四个等级，其中 A 级质量最差，D 级质量最好；脱氧方法符号用 F、b、Z、TZ 表示，分别表示沸腾钢、半镇静钢、镇静钢和特殊镇静钢（Z、TZ 通常省略不写）。例如 Q235-A·F 表示屈服点数值为 235MPa 的沸腾钢。

2. 优质碳素结构钢

钢的牌号由两位数字组成，表示钢中碳的平均质量分数的万分数。含锰量较高的优质碳素结构钢在牌号后面附以锰元素符号 Mn，例如 15Mn、20Mn 等。沸腾钢、半沸腾钢以及专门用途的优质碳素结构钢应在牌号中特别标出。

常用的优质碳素结构钢有 08F、15、40、45、60、65 钢等。

08F、15 钢，其塑性、韧性很好，焊接性能优良，易于冲压加工，但强度较低，主要用于制造各种冲压件和焊接件。

40、45 钢，其强度较高，塑性、韧性稍低。经过热处理后，可获得良好的综合力学性能。它主要用于制造齿轮、轴类零件及重要的销子、螺栓等。

60、65 钢，经过热处理可获得高的弹性和硬度，主要用来制造弹簧和耐磨的零件。

3. 合金结构钢

合金结构钢是在碳素结构钢的基础上有目的地加入一定量的合金元素而得到的多元合金。钢中加入适量的合金元素，改善了热处理性能，提高了强度和韧性。合金结构钢常用于制造各种重要的机械零件和工程构件。例如，40Cr 常用作传动轴的材料。

合金结构钢的牌号用“数字+元素符号+数字”表示。前面的数字表示碳的平均质量分数的万分数；元素符号表示所含合金元素的名称；后面的数字表示合金元素的平均质量分数（平均质量分数小于 1.5% 时不用数字表示）。例如 60Si2Mn 表示硅锰合金结构钢，其 $w_c = 0.6\%$ ， $w_{Si} = 1.5\% \sim 2.49\%$ ， $w_{Mn} < 1.5\%$ 。

4. 碳素工具钢

工具钢是用来制造各种刀具、量具和模具的材料。它应满足其硬度、耐磨性、强度、韧性及热硬性等方面的要求。

碳素工具钢是 $w_c = 0.65\% \sim 1.35\%$ 的高碳钢。牌号用“T”表示钢的种类，后面的数字表示碳的平均质量分数的千分数。常用的碳素工具钢有 T8、T10、T10A、T12A（A 表示高级优质钢）等。由于碳素工具钢的热硬性较差，热处理变形较大，仅适用于制造不太精密的模具，木工工具和金属切削的低速手用刀具（锉刀、锯条、手用丝锥）等。

5. 合金工具钢

合金工具钢是在碳素工具钢的基础上加入合金元素（Si、Mn、Cr、W、V 等）制成的。合

金工具钢的牌号表示方法与合金结构钢相似，区别在于：牌号前面只用一位数字表示碳的平均质量分数的千分数；钢中碳的质量分数大于或等于 1% 时不予标出。

合金工具钢按用途不同可为刃具钢（如 9CrSi、W18Cr4V）、模具钢（如 5CrNiMo、3Cr2W8V）、量具钢（如 CrWMn）。

6. 特殊性能钢

特殊性能钢是一种含有较多合金元素、并具有某些特殊物理性能和化学性能的钢。如不锈钢、耐热钢等。其编号方法基本上与合金工具钢相同。

常用的不锈钢有 1Cr13、2Cr13、1Cr18Ni9Ti 等。

常用的耐热钢有 4Cr10Si2Mo、4Cr14Ni14W2Mo 等。

7. 铸钢

铸钢的种类很多，按照化学成分，可分为两类：铸造碳钢和铸造合金钢。其中，以铸造碳钢应用最广，约占铸钢总产量的 80% 以上。

铸造碳钢的牌号以“铸钢”二字的汉语拼音字首“ZG”与其后的两组数字构成，第一组数字表示该牌号铸钢的屈服点，第二组数字表示抗拉强度。如 ZG200-400。

二、铸铁

铸铁是 $w_c > 2.11\%$ 的铁碳合金，工业上使用的铸铁一般 $w_c = 2.5\% \sim 4.0\%$ 。根据碳在铸铁中形式的不同，可分为白口铸铁、灰口铸铁、麻口铸铁；灰口铸铁根据石墨形状不同可分为灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁等。

1. 白口铸铁

白口铸铁中的碳以化合物 Fe_3C 的形式存在，断面呈白色，故称白口铸铁。其性能硬而脆，不能进行切削加工，一般不直接用来制造机械零件。

2. 灰铸铁

灰铸铁中的碳主要以片状石墨的形式存在，断面呈灰色，故称灰铸铁。灰铸铁软而脆，铸造性能好，并具有良好的耐磨性、耐热性、减振性和切削加工性。因而工业上常用来制造各种机床床身、罩盖、支架、底座、带轮、齿轮和箱体等，是目前应用最多的一种铸铁。

灰铸铁的牌号由“HT”及表示最低抗拉强度的三位数字组成，如 HT200。

3. 可锻铸铁

可锻铸铁是由白口铸铁经高温石墨化退火后得到的一种铸铁。可锻铸铁中碳大部分或全部以团絮状石墨的形式存在；因此，有较高的强度和韧性，具有一定的塑性变形能力。可锻铸铁并不能锻造。它常用于制造承受冲击振动的薄壁零件，如汽车、拖拉机的后桥外壳、低压阀门、机床附件及农具等。

可锻铸铁的牌号由“KT”及两组数字组成。这两组数字分别表示最低抗拉强度和最低伸长率，如 KT300-06。

4. 球墨铸铁

球墨铸铁中的碳大部分以球状石墨的形式存在，从而使球墨铸铁具有良好的力学性能——有些指标接近于钢；疲劳强度甚至高于碳钢；塑性、韧性和耐磨性等比灰铸铁好。因此广泛用于机械制造、交通、冶金等工业部门。目前常用来制造气缸套、活塞、曲轴和机架等机械零件。

球墨铸铁的牌号由“QT”及两组数字构成，这两组数字分别表示最低抗拉强度和最低伸

长率，如 QT600-02。

三、有色金属

通常将钢铁材料称为黑色金属，而其它金属材料则称为有色金属。有色金属具有不同于钢铁的特性，如铝、镁、钛及其合金密度小；铜、铝及其合金导电性好；镍、钨及其合金耐高温等。因此，在机械制造、电器制造、航空及国防等工业部门，除大量使用黑色金属外，有色金属也得到广泛的应用。

下面仅介绍工业常用的铝和铝合金、铜和铜合金。

1. 铝和铝合金

纯铝的显著优点是密度小（约为铁的 1/3），导电性好（稍次于铜），塑性好，在空气中有良好的抗蚀性。但强度、硬度低。纯铝主要用作导电材料或制造耐蚀零件，一般不作结构材料。

纯铝按其杂质含量编制代号，有 L1、L2、L3、L4、L5 等。编号越大，纯度越低。

工业上广泛使用铝合金。在铝中加入适量的硅、铜、镁、锰等合金元素，可提高其力学性能。根据合金成分和工艺特点的不同，铝合金可分为形变铝合金和铸造铝合金两大类。形变铝合金又分为防锈铝合金（代号为 LF）、硬铝合金（代号为 LY）、超硬铝合金（代号为 LC）和锻铝合金（代号为 LD）等。形变铝合金主要用作各类型材和结构件，如各式容器、发动机机架、飞机的大梁等。铸造铝合金又分为铝硅合金、铝铜合金、铝锌合金等。

各类铸造铝合金的代号均以“ZL”加顺序号表示。铸造铝合金主要用作各种轻型铸件，如活塞、气缸盖和气缸体等。

2. 铜和铜合金

纯铜又称紫铜，因它是用电解法制得的，故又名电解铜。纯铜具有很高的导电性和耐蚀性，并且具有良好的塑性，但其强度较低，主要用于各种导电材料和配制铜合金。

工业纯铜的代号有 T1、T2、T3 等，编号越大，纯度越低。

机械制造生产中广泛使用铜合金。按合金成分的不同，铜合金可分为黄铜、白铜和青铜三大类。黄铜是以铜和锌为主的合金（代号为 H），主要用于制造散热器、弹簧、垫片、衬套及耐蚀零件等。白铜是以铜和镍为主的合金（代号为 B），它具有优良的塑性、耐蚀性、特殊的电性能，是制造精密机械零件和电器元件不可缺少的材料。青铜是指除黄铜和白铜以外的铜合金（代号为 Q），如铜和锡的合金称为锡青铜，铜和铝的合金称为铝青铜，此外还有铍青铜、钛青铜、硅青铜、锰青铜等。青铜主要用于制造轴瓦、蜗轮及耐磨、耐蚀零件等。

四、硬质合金

硬质合金是以难熔的金属碳化物粉末（碳化钨、碳化钛、碳化钽等）为基体，以铁、钴、镍等为粘结剂加压成形并经高温烧结而成的一种合金材料。在机械制造生产中，硬质合金主要用作金属切削刀具的材料。其硬度为 89~93HRA（相当于 74~81HRC），它有很高的热硬性（可耐 800~1000℃ 高温），因而可使切削速度大大提高。使用硬质合金刀具可以提高工作效率和加工质量，为高速切削创造了条件。硬质合金有以下几类：

1. 钨钴类硬质合金

由碳化钨和钴组成。一般用作机械粗加工和冷冲模。常用的牌号有 YG3、YG6、YG8。

2. 钨钴钛类硬质合金

由碳化钨、碳化钛和钴组成。一般用作机械半精加工和精加工。常用牌号为 YT5、YT15、

YT30。

3. 钨钴钛钽类硬质合金

它是在 YT 类合金中加入部分碳化钽而制成的。一般用于高锰钢等难加工材料的切削。常用牌号为 YW1 和 YW2。

4. 碳化钛基类硬质合金

由碳化钛（也可加入少量碳化钨）和镍、钼组成。可用于淬火钢的精加工。常用牌号为 YN10。

5. 钢结硬质合金

钢结硬质合金是一种很有特色的硬质合金（分类代号为 YE）。它具有钢一样的切削加工性，也可以锻造、热处理和焊接。经适当热处理后，其硬度可达 70HRC，具有高耐磨性、抗氧化和耐腐蚀等优点。适于制造各种形状复杂的刀具，如麻花钻、铣刀等，也用来制造在高温下工作的模具和耐磨零件。

五、钢铁的现场鉴别

在生产现场，为了了解所用钢铁材料的大概种类，可以采用以下简单、方便、快速的方法加以鉴别。

（一）观察颜色

钢材出厂时，都要按照有关标准在两端或端部涂上不同颜色的涂料，以示区别。例如 Q235 钢涂红色，20 钢涂棕色+绿色，45 钢涂白色+棕色，1Cr18Ni9Ti 涂绿色+蓝色。根据钢材端部的颜色，即可确定所用钢材的种类。

（二）观察断面

把钢铁材料敲断，用肉眼观察，不同的材料有不同的断面特征。灰口铸铁断面呈暗灰色，晶粒粗大；白口铸铁断面呈银白色，晶粒较细；低碳钢不易折断，断口处有明显塑性变形；中碳钢折断时塑性变形不明显，晶粒较细；高碳钢断口基本上无塑性变形，晶粒细密。

（三）听声音

敲击钢铁材料时，声音比较沉闷的是铸铁，声音比较清脆的是钢。

（四）火花鉴别

用砂轮磨削钢铁材料时，由于材料所含的化学元素不同，将产生不同类型的火花。根据火花的形状、亮度和颜色等特征，便可以大致鉴别材料的种类和化学成分。

1. 火花的形成和组成

（1）火花束 火花束是指被测材料在砂轮上磨削时产生的全部火花，通常由根部、中部、尾部三部分组成。如图 1-5 所示。

（2）流线 火花束中由灼热发光的粉末高速飞行时在空中出现的轨迹称为流线，每条流线都有节点、爆花和尾花组成。如图 1-6 所示。

（3）节点 流线中途爆裂的地方叫节点，呈明亮色。

（4）爆花 节点处爆裂的火花，由许多小流线及点状火花组成。通常爆花可以分为一次、二次、三次等。如图 1-7 所示。

（5）尾花 流线尾部的火花。钢的化学成份不

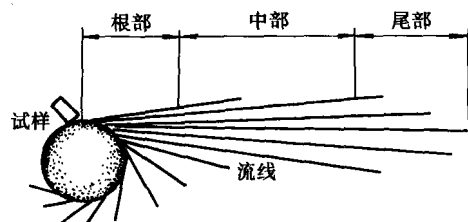


图 1-5 火花束

同，尾花的形状也不同。

2. 常用钢材的火花特征

碳是形成钢铁火花的基本元素。流线中的高温金属微粒与空气接触，在其表面形成一层氧化膜。氧化膜与微粒中的碳作用产生 CO 气体，当气体压力足够大时，氧化膜爆裂而形成火花。因此，含碳量不同，火花的特征也有所不同。通常低碳钢流线少，火花束较长，带暗红色，芒线稍粗，发光适中，多为一次花；中碳钢流线多，较细，火花束较短，发光大，爆花分叉较多，开始出现二次、三次花；高碳钢流线多而细，火花束短而粗，很明亮，爆花多，分叉也多，且多为三次花；铸铁的火花束很短，带有很多爆花，大多呈羽毛状，接近砂轮的呈暗红色，离砂轮远的呈赤橙色。

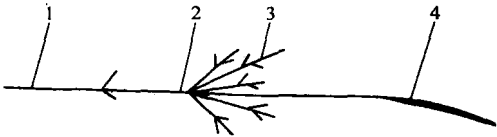


图 1-6 火花的组成

1—流线 2—节点 3—爆花 4—尾花

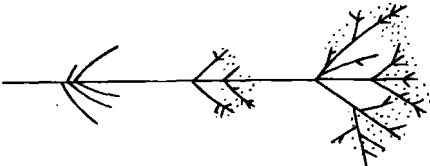
除了碳以外，合金元素对火花也有影响，因此某些合金钢也能采用火花鉴别。

(1) 碳素钢的火花特征 碳素钢的含碳量越高，则流线越多，火花束变短，爆花增加，花粉也增多，火花亮度增加。

1) 20 钢，火花束长，颜色橙黄带红，流线呈弧形，芒线多叉，花粉较多。

2) 45 钢，火花束稍短，颜色橙黄、流线较长而多，芒线多叉，花粉较多，为二次爆花。

3) T12 钢，火花束短粗，颜色暗红，流线细密，碎花及花粉多，为多次爆花。



一次花 二次花 三次花

图 1-7 爆花的形式

(2) 铸铁的火花特征 铸铁的火花束较粗，颜色多为橙红带桔红，流线较多，尾部渐粗，下垂成弧形，一般为二次爆花，花粉较多。

常用钢材的火花特征如图 1-8 所示。

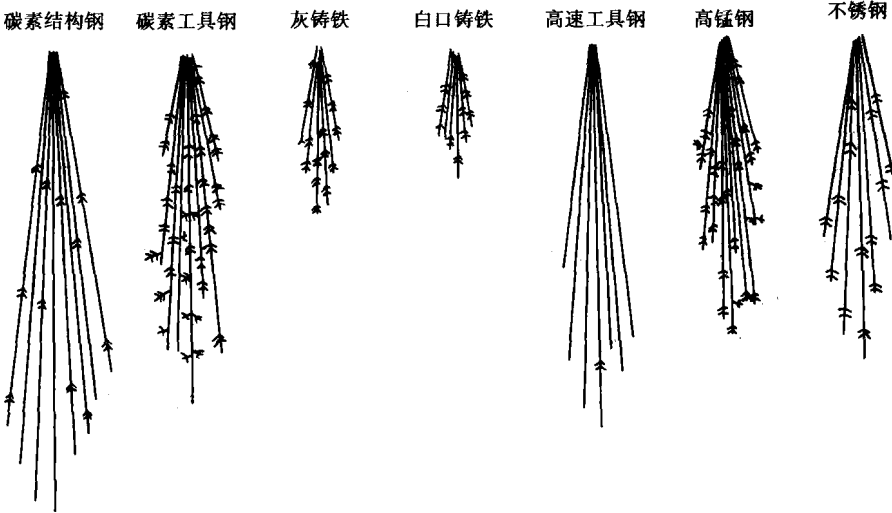


图 1-8 常用金属材料的火花特征

为了准确鉴别成分，试验要进行得精确和有规律性。所以砂轮大小、磨料及粒度应固定，即砂轮直径为 150mm，砂轮磨料为氧化铝，粒度号取 46~60，并需要有一套钢材成分标准试样和相应的火花图，以便进行比较。

第三节 金属材料选择的原则与步骤

一、材料选用的一般原则

设计、制造机械零件时所选用的材料，首先必须满足零件在具体工作条件下具有一定的使用寿命；其次材料必须适应制造该零件的各种加工工艺要求；还要考虑零件的经济效益。所以，材料选用的一般原则是：首先必须满足零件的使用性能要求，同时要考虑其工艺性能和经济性。

1. 材料的使用性能

材料的使用性能应满足产品零件的工作条件要求，这是选材时首要考虑的问题。如果材料使用性能不能满足零件的工作条件要求，就会造成机械零件或设备的早期损坏，甚至造成人身、设备事故。

金属材料的使用性能包括力学性能和物理、化学性能两个方面。力学性能主要包括强度、硬度、刚度、塑性、韧性、疲劳强度等；物理、化学性能主要包括密度、导热性、耐热性、耐腐蚀性等。一般机械零件主要考虑其中的力学性能和耐热性能、耐腐蚀性能。

产品零件的工作条件通常分为：受力状态、载荷大小和性质、工作温度、环境介质和摩擦条件等几个方面。受力状态有拉、压、弯、扭、剪切等几种形式；载荷性质有静载、动载、交变载荷等；工作温度有低温、常温和高温等；环境介质包括：大气、湿热、海水、化学介质（如酸、盐、碱等）、油类及润滑剂等等。

零件工作条件不同，其对材料使用性能的要求也不同。选材时首先应根据零件工作条件，分析其可能的失效（即损坏）形式，分析零件对材料的主要性能要求，才能选择出合适的材料，满足零件的工作要求，保证产品零件的正常运转、经久耐用。

合理地选用金属材料的力学性能指标是十分重要的。选材时必须注意以下几个问题：

(1) 充分考虑尺寸效应对力学性能的影响 钢材截面大小不同，即使热处理相同，其力学性能也是有差异的。截面尺寸愈大，尺寸效应愈明显。尺寸效应除与大截面材料内部产生冶金缺陷的可能性增大有关外，还与钢材料的淬透性有着密切的关系。表 1-2 是几种钢在调质时尺寸效应的实例。

由表可见，淬透性低的钢（如碳钢）尺寸效应比较敏感，当截面尺寸增大时力学性能显著下降；而淬透性高的钢（如合金钢）尺寸效应较小。

(2) 综合考虑材料强度、塑性、韧性的合理配合 通常机械零件强度设计是以屈服点为依据（脆性材料用抗拉强度），提高强度指标可以减轻机器自重，延长使用寿命，但一般会使塑性、韧性有不同程度的降低。当过载时，零件就会有断裂的危险。故选材时，正确处理各种力学性能间的关系是很重要的。

(3) 合理地确定硬度值 通常在设计图样上仅用硬度作为力学性能的技术要求。其原因一是硬度试验简便，不损坏工件；二是在一定的工艺条件下硬度与强度及其它力学性能指标之间存在一定的关系，即只要硬度合格，其它力学性能指标也基本合格。但值得注意的是，材

料经某些不同的热处理可得到相差很小的硬度值，而其他力学性能却有较大差别。因而在图样上应首先标明热处理工艺，然后标明热处理后应达到的硬度值。

表 1-2 钢材的尺寸效应（调质后）

钢号	截面 $\phi 25\text{mm} \sim 30\text{mm}$				截面 $\phi 100\text{mm}$			
	σ_s /MPa	σ_b /MPa	ψ (%)	α_K / ($\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$)	σ_s /MPa	σ_b /MPa	ψ (%)	α_K / ($\text{J} \cdot \text{cm}^{-2}$)
40、45 40Mn、45B	400~600	600~800	50~55	80~100	300~400	500~700	40~50	40~50
30CrMnSi 37CrNi3 35CrMoV 18Cr2NiW 25Cr2Ni4W	900~1000	1000~1200	50~55	80~100	800~900	1000~1200	50~55	80~100

2. 材料的工艺性能

材料的工艺性能是指材料本身适应于某种加工工艺的能力。材料工艺性能的好坏，对零件加工的难易程度、生产效率和生产成本等方面起着十分重要的作用。因此，材料的工艺性能是选材时必须同时考虑的另一个重要因素。

金属材料的加工方法有铸造、压力加工、焊接、热处理和切削加工等。相应的工艺性能有：

(1) 铸造性能 主要包括流动性、收缩性、偏析倾向以及产生热裂、缩孔、气孔的倾向等。不同的金属材料，其铸造性能有很大差异。例如在铁碳合金中，铸铁的铸造性能优于铸钢。

(2) 压力加工性 主要包括冷冲压性和锻造、轧制性两方面。一般来说，低碳钢的压力加工性比高碳钢好，而碳钢比合金钢好。

(3) 切削加工性 一般用切削抗力大小、零件表面粗糙度、加工时切屑排除难易及刀具磨损来衡量，它是合理选材的重要依据之一。

(4) 焊接性 一般用焊缝处出现裂纹、脆性、气孔及其它缺陷的倾向来衡量。也是选择焊接结构材料的重要依据之一。

(5) 热处理工艺性 主要包括淬硬性、淬透性、淬火变形开裂倾向、过热敏感性、回火脆性、回火稳定性、氧化脱碳倾向等。这些性质均与金属材料的成分有关，是选用合金钢时必须考虑的重要工艺性能。

材料工艺性能的好坏，对单件和小批量生产并不显得十分突出；而对成批大量生产，往往成为选材中起决定作用的因素。

3. 材料的经济性

所谓材料的经济性，是在满足零件使用要求的前提下，首先考虑选用价格比较便宜的材料。凡能用碳素钢的就不用合金钢；能用低合金钢就不用高合金钢。这一点对于大批量生产的零件尤为重要。常用金属材料的价格比如表 1-3 所示。其次还应从材料的加工费用方面来考虑。材料良好的工艺性能也是经济性的一个方面，可以采用无切削或少切削工艺（如精铸，模