

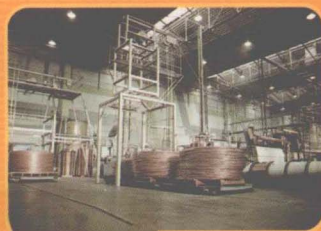
职业教育金属材料与热处理技术专业规划教材

ZHIYE JIAOYU JINSHU CAILIAO YU RECHULI JISHU ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

热处理实训

张卫◎主编

RECHULI SHIXUN



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



教师免费下载
www.cmpedu.com

赠教学资源

职业教育金属材料与热处理技术专业规划教材

热处理实训

主编 张 卫

参编 于 顺 李明庭



机械工业出版社

本书是根据《国家职业标准 热处理工》中的鉴定内容编写的。全书共分九个项目,其中检验技能训练内容包括:火花鉴别,硬度测定,金相检验及热处理缺陷组织分析;常规热处理技能训练内容包括:退火技能训练,正火技能训练,淬火技能训练,回火技能训练,表面热处理与化学热处理技能训练,铸铁热处理训练;强化训练内容包括:典型零件热处理操作实例,技能考核模拟试题等。本书注重技能操作,突出针对性、典型性、适用性,并简要地介绍了金属学基础知识和热处理基础知识,以大量的图例作为说明,通过详细的讲解和丰富的实例,使读者轻松掌握操作技能。

本书结构清晰,内容翔实,实例丰富,图文并茂。每个项目分为项目导读、实训目标、实训内容、相关术语与知识、实训设备与材料、实训步骤与方法等结构讲述,便于教师指导学生边学边练,学以致用。本书可供职业教育机械类、数控、模具、焊接、材料成形等专业教学使用,也适合参加国家职业技能鉴定的相关专业人员学习与参考。

图书在版编目(CIP)数据

热处理实训/张卫主编. —北京:机械工业出版社, 2010.5

职业教育金属材料与热处理技术专业规划教材

ISBN 978-7-111-30616-0

I. ①热… II. ①张… III. ①热处理-职业教育-教材 IV. ①TG156

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 084406 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:齐志刚 责任编辑:齐志刚 责任校对:申春香

封面设计:王伟光 责任印制:乔宇

北京汇林印务有限公司印刷

2010 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·9.25 印张·226 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-30616-0

定价:17.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

为了进一步贯彻“国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定”的文件精神，加强职业教育教材建设，满足现阶段职业院校金属材料与热处理技术专业教学对教材建设的需求，根据现阶段职业院校该专业没有一套较为合适的教材，大部分院校采用自编或行业的考证培训教材组织教学，内容相对陈旧的实际情况，机械工业出版社于2008年8月在北京召开了“职业教育金属材料与热处理技术专业教材建设研讨会”。在会上，来自全国该专业的骨干教师和企业专家经过多次研究讨论，确定了系列教材的编写计划，本书是根据《国家职业标准 热处理工》中的鉴定内容编写的。

本书采用最新国家标准，结合热处理技术的最新成果，充分考虑目前教学的需求，教材的内容和结构有自己的特色，是编者多年来培训实践的积累和教学经验的总结。根据当前职业教育教学的新形势，本书以“项目为导向”，实施“任务驱动”，突出教与学、学与练的效果与效率，减少了高深的理论知识，易学易用，增强了教材的适用性和实用性。

本书由沈阳职业技术学院张卫主编。参加本书编写工作的还有于顺、李明庭等。本书在应用工程中参考和借鉴了必要的文献和资料，在此向原作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，时间仓促，书中缺点和错误在所难免，恳请广大读者对书中的不足给予批评指正。

编 者

目 录

前言	
项目一 火花鉴别	1
项目二 硬度测定	18
项目三 金相检验及热处理缺陷组织分析	28
项目四 退火技能训练	46
项目五 正火技能训练	70
项目六 淬火技能训练	77
项目七 回火技能训练	92
项目八 表面热处理与化学热处理技能训练	105
项目九 铸铁热处理训练	118
项目十 典型零件热处理操作实例	124
任务一 螺栓的热处理	124
任务二 车刀的热处理	125
任务三 轴承外套的热处理	126
任务四 凹模的热处理	127
技能考核模拟试题（一）	129
技能考核模拟试题（二）	132
附录	136
附录 A 实操考核评分表	136
附录 B 平面布氏硬度值计算表	136
参考文献	142

项目一

火花鉴别



项目导读

火花鉴别法是利用试样在砂轮上磨削时发射出的火花来鉴别钢材的牌号，这种鉴别方法快速、简便、易行、实用，已成为一种具有一定实用价值的现场检验方法，被广泛用于冶金和机械制造工厂的车间现场，鉴别钢种混号和进行废钢分类，并用于鉴定热处理后表面的碳含量^①。在没有其他分析手段的情况下，也用于估量钢材的成分。本项目训练以不同碳含量的非合金钢及合金钢的火花鉴别为实训内容，重点练习识别不同金属材料的火花特征，掌握实际操作方法及技巧。在相关术语与知识中对涉及钢的牌号，钢的用途及碳含量对火花的影响，合金元素对火花的影响等知识作了简要介绍，以便于用理论指导实训。



实训目标

1. 初步了解钢的分类方法、牌号及用途。
2. 掌握火花鉴别的基本知识及操作方法。
3. 通过对常用牌号钢的火花对比，掌握用火花鉴别法分辨不同钢制工件。
4. 提高鉴别能力和技巧，以便用于生产实践。



实训内容

用火花鉴别法鉴别表 1-1 中所列材料，比较不同碳含量的非合金钢及合金钢的火花特征。

表 1-1 实训内容

材料名称	操作内容	观察爆花形式	分辨花束颜色	描述火花特征	火花示意图
20 钢	钢的火花鉴别				
45 钢	钢的火花鉴别				
40Cr 钢	钢的火花鉴别				
T8 钢	钢的火花鉴别				
T12 钢	钢的火花鉴别				
Gr15 钢	钢的火花鉴别				
W18Cr4V	钢的火花鉴别				

① 如无特殊说明，此书中的元素含量均指元素的质量分数。——编者注



相关术语与知识

一、钢材生产

在自然界中铁以各种化合物的形式存在，并与其他化合物混合在一起形成铁矿石。把铁从铁矿石中还原出来，经高炉冶炼成铸造生铁（ $w_{\text{Si}} = 1.25\% \sim 3.2\%$ ）和炼钢生铁（ $w_{\text{Si}} < 1.25\%$ ）。再以炼钢生铁为原料，利用氧化还原法，降低生铁中的硅、锰、硫、磷等杂质和过量的碳，使其化学成分控制在标准规定的范围之内，然后将钢液铸成钢锭，再经过冷轧或热轧制成各种类型的钢材。

二、钢的分类

国家标准 GB/T 13304—2008 将钢的分类分成了两部分：第一部分是按钢的化学成分分类；第二部分是按钢的主要质量等级和主要性能及使用特性分类。

1. 按化学成分分类

在新的分类方法中“用非合金钢”代替了传统的“碳素钢”，但 1992 年以前制定的标准有的还属于现行标准，所以“碳素钢”在本书中仍然在使用。表 1-2 规定了非合金钢、低合金钢和合金钢中化学元素的基本界限值。需要说明的是当 Cr、Cu、Mo、Ni 四种元素，有其中两种、三种或四种元素同时规定在钢中时，对于低合金钢，除考虑每种元素的规定含量外，还要考虑他们的总和应不大于每种元素规定含量最大值总和的 70%。否则也应划入合金钢的范围。此原则同样适用于 Nb、Ti、V、Zr 四种元素。

表 1-2 合金钢中元素规定的质量分数界限值

合金元素	合金元素规定质量分数界限值(%)			合金元素	合金元素规定质量分数界限值(%)		
	非合金钢	低合金钢	合金钢		非合金钢	低合金钢	合金钢
Al	<0.10	—	≥0.10	Se	<0.10	—	≥0.10
B	<0.0005	—	≥0.0005	Si	<0.50	0.50 ~ 0.90	≥0.90
Bi	<0.10	—	≥0.01	Te	<0.10	—	≥0.10
Cr	<0.30	0.30 ~ 0.50	≥0.50	Ti	<0.05	—	≥0.13
Co	<0.10	—	≥0.10	W	<0.10	—	≥0.10
Cu	<0.10	0.10 ~ 0.50	≥0.50	V	<0.04	—	≥0.12
Mn	<1.00	1.00 ~ 1.4	≥0.14	Zr	<0.05	—	≥0.12
Mo	<0.05	0.05 ~ 0.10	≥0.10	混合稀土	<0.02	—	≥0.05
Ni	<0.30	0.30 ~ 0.50	≥0.50	其他元素 (S、P、C、 N 除外)	0.05	—	≥0.05
Nb	<0.02	0.02 ~ 0.06	≥0.06				
Pb	<0.40	—	≥0.40				

2. 按主要质量等级、主要性能及使用特性分类

最新国家标准按主要质量等级、主要性能及使用特性对非合金钢、低合金钢和合金钢进行了细分，具体可参见表 1-3。

表 1-3 钢按主要质量等级、主要性能及使用特性分类

按化学成分	按主要质量等级	按主要性能及使用性能						
非合金钢	普通质量非合金钢	以规定最高强度(或硬度)为主要特性的非合金钢(如冷成形用薄钢板)	以规定最低强度为主要特性的非合金钢(如造船、压力容器等用的结构钢)		以限制碳含量为主要特性的非合金钢(如线材调质钢)	非合金易切削钢	具有特定电磁性的非合金钢(如电工纯铁)	其他非合金钢
	优质非合金钢							
	特殊质量非合金钢							
低合金钢	普通质量低合金钢	可焊接的低合金高强度结构钢	低合金耐候钢		低合金钢筋钢	铁道用低合金钢	矿用低合金钢	其他低合金钢
	优质低合金钢							
	特殊质量低合金钢							
合金钢	优质合金钢	工程结构用合金钢	机械结构用合金钢	不锈钢和耐热钢	合金工具钢和高速工具钢	轴承钢	特殊物理性能钢	其他合金钢
	特殊质量合金钢							

三、钢的牌号

钢的牌号简称钢号，是对每一种具体钢产品所取的名称，是人们了解钢的一种共同语言。近年来，国家标准局对钢铁材料的表示方法及牌号作出了新的规定，新标准使材料牌号逐渐向国际标准靠拢，即采用数字代号和力学性能为牌号，逐渐淘汰以化学成分为牌号，具体表示方法如下：

1. 碳素结构钢

碳素结构钢牌号通常由四部分组成：

第一部分：前缀符号 + 强度值（以 N/mm^2 或 MPa 为单位），其中通用结构钢前缀符号为代表屈服强度的拼音的字母“Q”，专用结构钢的前缀符号有特殊规定，具体可参见 GB/T 221—2008 钢铁产品牌号表示方法。

第二部分（必要时）：钢的质量等级，用英文字母 A、B、C、D、E、F……表示。

第三部分（必要时）：脱氧方式表示符号，即沸腾钢、半镇静钢、镇静钢、特殊镇静钢分别以“F”、“b”、“Z”、“TZ”表示。镇静钢、特殊镇静钢表示符号通常可以省略。

第四部分（必要时）：产品用途、特性和工艺方法的表示符号可标注在牌号尾（如 Q235AF）。

2. 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢牌号通常由五部分组成：

第一部分：以二位阿拉伯数字表示平均碳含量[⊖]（以万分之几计）。

第二部分（必要时）：较高含锰量的优质碳素结构钢，加锰元素符号 Mn。

第三部分（必要时）：钢材冶金质量，即高级优质钢、特级优质钢分别以 A、E 表示，优质钢不用字母表示。

第四部分（必要时）：脱氧方式表示符号，即沸腾钢、半镇静钢、镇静钢分别以“F”、“b”、“Z”表示，但镇静钢表示符号通常可以省略。

第五部分（必要时）：产品用途、特性或工艺方法表示符号，可标注在牌号尾。

⊖ 如无特殊说明，此书中的元素含量均指元素的质量分数。——编者注

3. 碳素工具钢

碳素工具钢牌号通常由四部分组成：

第一部分：碳素工具钢表示符号“T”。

第二部分：阿拉伯数字表示平均碳含量（以千分之几计）。

第三部分（必要时）：较高含锰量碳素工具钢，加锰元素符号 Mn（如 T8Mn）。

第四部分（必要时）：钢材冶金质量，即高级优质碳素工具钢以 A 表示，优质钢不用字母表示（如 T8A）。

4. 低合金结构钢

低合金结构钢牌号组成与碳素结构钢相同。根据需要，也可以采用二位阿拉伯数字（表示平均碳含量，以万分之几计）加规定的元素符号及必要时加代表产品用途、特性和工艺方法的表示符号，按顺序表示。

5. 合金结构钢和合金弹簧钢

合金结构钢牌号通常由四部分组成：

第一部分：以二位阿拉伯数字表示平均碳含量（以万分之几计）。

第二部分：合金元素含量，以化学元素符号及阿拉伯数字表示。具体表示方法为：平均含量小于 1.50% 时，牌号中仅标明元素^①，一般不标明含量；平均含量为 1.50% ~ 2.49%、2.50% ~ 3.49%、3.50% ~ 4.49%、4.50% ~ 5.49%……时，在合金元素后相应写成 2、3、4、5……。例如平均碳含量为 0.20%、锰含量为 1.50% ~ 1.80%，钛含量为 0.06% ~ 0.12%、硼含量为 0.001% ~ 0.004% 的合金结构钢，其牌号应表示为 20Mn2TiB。

第三部分：钢材冶金质量，即高级优质钢、特级优质钢分别以 A、E 表示，优质钢不用字母表示。

第四部分（必要时）：产品用途、特性或工艺方法表示符号。

有时两个钢种的化学成分，除其中一个主要合金元素以外，都基本相同，而且这个主要元素的平均含量也都小于 1.5%，应将含量较高者在元素的后面标加“1”字来加以区别。例如，12CrMoV 和 12Cr1MoV 钢的含铬量分别为 0.40% ~ 0.60% 和 0.90% ~ 1.20%。

合金弹簧钢的表示方法与碳素结构钢和合金结构钢相同，例如 60Si2Mn 表示平均碳含量为 0.60%，Si 含量为 2%，Mn 含量小于 1.5%。

6. 合金工具钢和高速工具钢：

合金工具钢牌号通常由两部分组成：

第一部分：平均碳含量小于 1.00% 时，采用一位数字表示碳含量（以千分之几计）（如 $w_C = 1.30\% \sim 1.50\%$ 、 $w_{Mn} = 0.45\% \sim 0.75\%$ 、其钢牌号为 CrMn）。平均碳含量不小于 1.00% 时，不标明含碳量数字（如 9Mn2V 钢的 $w_C = 0.85\% \sim 0.95\%$ ）。

第二部分：合金元素含量，以化学元素符号及阿拉伯数字表示，表示方法同合金结构钢第二部分。低铬（平均铬含量小于 1%）合金工具钢，在铬含量（以千分之几计）前加数字“0”（如 Cr06 钢的 $w_{Cr} = 0.60\%$ ）。

高速工具钢牌号表示方法与合金结构钢相同，但在牌号头部一般不标明表示碳含量的阿拉伯数字。为了区别牌号，在牌号头部可以加“C”表示高碳高速工具钢（如 CW6Mo5Cr4V2）。

① 化学元素符号的排列顺序推荐按含量值递减排列。如果两个或多个元素的含量相等时，相应符号位置按英文字母的顺序排列。——编者注

7. 不锈钢、耐热钢和高电阻电热合金

(1) 不锈钢和耐热钢的碳含量 用两位或三位阿拉伯数字表示碳含量最佳控制值（以万分之几或十万分之几计）。

1) 只规定碳含量上限者，当碳含量上限不大于 0.10% 时，以其上限的 3/4 表示碳含量；当碳含量上限大于 0.10% 时，以其上限的 4/5 表示碳含量。例如，碳含量上限为 0.08%，碳含量以 06 表示；碳含量上限为 0.20%，碳含量以 16 表示；碳含量上限为 0.15%，碳含量以 12 表示。

对超低碳不锈钢（即碳含量不大于 0.030%），用三位阿拉伯数字表示碳含量最佳控制值（以十万分之几计）。例如，碳含量上限为 0.030% 时，其牌号中的碳含量以 022 表示；碳含量上限为 0.020% 时，其牌号中的碳含量以 015 表示。

2) 规定上、下限者，以平均碳含量 $\times 100$ 表示。例如，碳含量为 0.16% ~ 0.25% 时，其牌号中的碳含量以 20 表示。

(2) 不锈钢和耐热钢中合金元素含量 以化学元素符号及阿拉伯数字表示，表示方法与合金结构钢第二部分相同。钢中有意加入的铌、钛、锆、氮等合金元素，虽然含量很低，也应在牌号中标出。例如，碳含量不大于 0.08%，铬含量为 18.00% ~ 20.00%，镍含量为 8.00% ~ 11.00% 的不锈钢，牌号为 06Cr19Ni10。碳含量不大于 0.030%，铬含量为 16.00% ~ 19.00%，钛含量为 0.10% ~ 1.00% 的不锈钢，牌号为 022Cr18Ti。碳含量为 0.15% ~ 0.25%，铬含量为 14.00% ~ 16.00%，锰含量为 14.00% ~ 16.00%，镍含量为 1.50% ~ 3.00%，氮含量为 0.15% ~ 0.30% 的不锈钢，牌号为 20Cr15Mn15Ni2N。碳含量为不大于 0.25%，铬含量为 24.00% ~ 26.00%，镍含量为 19.00% ~ 22.00% 的耐热钢，牌号为 20Cr25Ni20。

(3) 高电阻电热合金 牌号表示方法与不锈钢和耐热钢的牌号表示方法相同（镍铬基合金不标出碳含量）。例如，铬含量为 18.00% ~ 21.00%，镍含量为 34.00% ~ 37.00%，碳含量不大于 0.08% 的合金（其余为铁），牌号为 06Cr20Ni35。

8. 滚动轴承钢

为了避免这类钢和其他合金钢发生混淆和重复，钢中碳含量不予标出，铬含量以千分之几表示，在牌号头部加符号“G”。例如，平均铬含量为 1.5% 的滚动轴承钢，其牌号应表示为 Cr15。其余合金元素表示方法与合金结构钢相同，如 GCr15SiMn 表示平均铬含量为 1.5%，Si、Mn 平均含量小于 1.5% 的滚动轴承钢。

四、钢的用途

1. 碳素结构钢

碳素结构钢产量大，价格低廉，广泛用于各种建筑、桥梁、船舶、车辆结构及机械零件。普通碳素结构钢的用途主要是作一般的建筑材料，如工槽钢、角钢和钢筋等。优质碳素结构钢的塑性和韧性比较好，主要用于机械零件和工具、弹簧等。

2. 低合金结构钢

低合金结构钢又称为低合金高强度钢。低合金结构钢是在普通质量碳素钢的基础上加入少量（一般总量不超过 3%）的合金元素而获得较好的强度、塑性、韧性、焊接性、耐蚀性、冷弯性能，较低的冷脆倾向，较小的缺口和时效敏感性等，用于桥梁、车辆、锅炉、化

工容器、压力容器、铁道、矿山机械等。

3. 合金结构钢

合金结构钢是在优质碳素结构钢的基础上适当地加入一种或数种（但总量不大）合金元素，从而获得较高的淬透性、强度和韧性，合金结构钢和优质碳素结构钢又称为机械结构用钢，可用来制造较重要的零件和较大截面的机械零件，如齿轮、轴类零件、弹簧和轴承等。

4. 耐候钢

耐候钢分为焊接结构用耐候钢和高耐候钢，是重要的机械制造用钢，其特点是在碳素结构钢和低合金钢的基础上加入少量的铜、铬、镍、钼等合金元素，使其金属表面形成一层保护膜从而具有一定的耐大气腐蚀的钢种，主要用于要求耐候性较高的桥梁、建筑等的焊接结构及车辆、塔架等。

5. 弹簧钢

弹簧是现代各种机器和仪表中非常重要的零件，其作用是减缓机构上的振动和冲击力的作用，为使弹簧能承受更高的载荷和延长其使用寿命，要求弹簧钢必须具有高的弹性极限和疲劳极限以及良好的表面性能等。

弹簧钢有碳素弹簧钢和合金弹簧钢两类。

碳素弹簧钢一般碳含量在 0.60% ~ 0.90% 之间，如 65 钢、70 钢、85 钢等，此外，还有碳素工具钢，如 T9 钢、T10 钢等，但碳素工具钢制作弹簧多在冷加工状态（冷拉）使用。

合金弹簧钢碳含量较低，一般在 0.47% ~ 0.74% 之间（30W4Cr2VA 例外，碳含量为 0.26% ~ 0.34%）。由于合金元素的加入，不仅增加了淬透性，而且还显著提高了钢的弹性极限、疲劳极限和屈强比，例如，硅、锰、铬、钒、钼、钨等元素加入钢后可使屈强比趋近于 1。前三种元素用于制造一般较重要用途的弹簧，而后三种元素用于制造特别重要用途或者在较高温度下工作的弹簧。

6. 滚珠轴承钢

滚珠轴承钢主要用来制造各种轴承内外套圈和滚动体。由于轴承受力条件比较复杂（高集中的反复交变载荷和摩擦），要求轴承钢必须具有较好的淬透性，高而均匀的硬度，较高的疲劳强度和较好的耐蚀性，因此，在冶金质量上，要求显微和宏观组织及成分有较好的均匀性，同时，对非金属夹杂、脱碳层深度、碳化物带状等均有较严格的要求。

工业上大量应用的滚珠钢为高碳铬钢（如 GCr6、GCr9、GCr15）和铬锰硅钢（如 GCr9SiMn、GCr15SiMn），均属于过共析珠光体钢。

7. 碳素工具钢

碳素工具钢是基本上不含合金元素的非合金钢（如 T7 钢、T8 钢、T10 钢、T12 钢等），其碳含量在 0.65% ~ 1.35% 范围内。这类钢经热处理（淬火及低温回火）以后，能获得较高的硬度和较好的耐磨性，由于其成本较低，应用较广泛。但是，由于碳素工具钢的淬透性差，必须在水中，甚至在盐水中淬火，容易产生淬火裂纹和变形，不宜用来制造较大的工具。与合金工具钢及高速工具钢相比，碳素工具钢的热硬性较差，当工作温度高于 250℃ 时，硬度急剧下降，所以，碳素工具钢只限于制造切削速度低，刃部受热程度较小的小截面工具、刀具，用于切削强度和硬度不太高的材料。

8. 低合金刀具钢

低合金刀具钢是在碳素工具钢的基础上加入一定量的合金元素（一般不超过 3% ~ 5%），如 Cr、W、Mo、Mn、Si 等。铬是低合金刀具钢的主要合金元素，一般含量为 0.5% ~ 1.5%，钨含量通常 $\leq 5\%$ ，硅含量则 $\leq 2\%$ ，常见牌号有 Cr、9SiCr、CrW5、CrWMn、9CrWMn。由于此类钢中加入合金元素，使过冷奥氏体的稳定性增大，提高了淬透性，同时，由于部分合金元素形成了合金碳化物，因此，在冷却介质（油或低温熔盐）中淬火仍能获得较高的硬度，并可减少刀具的变形和开裂，此外，低合金刀具钢比碳素工具钢具有更好的力学性能。由于这一系列优点，所以它们广泛地应用于刀具（如插刀、铰刀、铣刀、刨刀、拉刀、板牙、丝锥）制造中。

9. 模具钢

模具钢按其使用性质可分为在冷状态下使金属变形的模具钢（简称冷作模具钢）和在热状态下使金属变形的模具钢（简称热作模具钢）。冷作模具钢应具有高的硬度、强度和耐磨性，足够的韧性及微小的热处理变形，为满足这种要求，其碳含量为 0.9% ~ 1.2%，如 Cr2、CrWMn、9Mn2V 等钢，这类钢经热处理后硬度为 56 ~ 61HRC。对于一些要求耐磨性特别高，淬火后变形极微的高质量冷冲模，可采用 $w_c > 1.4\%$ 的 Cr12 型钢或 Cr6W 钢；对于某些在冲击载荷下工作的模具，为避免模刃在工作时发生崩毁和断裂，要求钢除具有良好的淬透性和耐磨性以外，还应有较高的韧性，为此，可用中碳 $w_c = 0.4\% \sim 0.6\%$ 的低合金钢制造，如 4 ~ 6CrW2Si 等；热作模具钢应具有高的力学性能——高温下保持高强度、高韧性和足够的耐磨性，高的淬透性，良好的导热性和耐热疲劳性，一般采用中碳 $w_c = 0.3\% \sim 0.6\%$ 合金钢，如 5CrNiMo、6SiMnV、3Cr2W8V 等钢。

10. 高速工具钢

高速工具钢以能进行高速切削而得名，是一种含多种合金元素的高合金钢，含有较多的钨、铬等元素，具有较高的淬透性和热硬性，制作刀具时，温度在 600℃ 左右仍能保持良好的切削性能。高速钢被广泛用于制造繁重条件下工作的重型或高速切削刀具。

目前我国工业上应用最广泛的是钨系高速钢，如 W18Cr4V、W9Mo3Cr4V 等。

11. 不锈钢

不锈钢包括不锈钢和耐酸钢。在空气中或弱腐蚀介质中能抵抗腐蚀作用的钢称为“不锈钢”，在各种侵蚀性强烈的介质中能抵抗腐蚀作用的钢称为“耐酸钢”。

耐蚀性是不锈钢、耐酸钢的最重要的质量指标。此外，还应有一定的强度，良好的塑性、焊接性和冷加工性能及较好的表面质量等。不锈钢多为镍铬合金，铬是使之获得耐腐蚀性能的最基本元素。不锈钢常被用作耐蚀构件，如汽轮机叶片、螺栓螺母、锅炉管件等。

12. 耐热钢及耐磨钢

耐热钢要求高温强度高，高温抗氧化性好，耐蚀性以及切削加工性能和工艺性能良好等，它广泛用于锅炉、汽轮机、化工和石油工业设备以及工业炉构件等。耐磨钢要求在强烈的冲击载荷和高压力的作用下有良好耐磨性，被用于球磨机衬板、齿板、铲齿、履带板、挖掘机斗齿等。

五、火花鉴别

火花鉴别法通常是根据火花的形状和颜色来鉴别钢的牌号。

1. 火花鉴别原理

试样与高速旋转的砂轮接触时, 由于摩擦, 温度急剧升高, 被砂轮切削下来的颗粒以高速度抛射出去, 同空气摩擦, 温度继续升高, 发生激烈氧化甚至熔化, 因而在运行中呈现出一条条光亮流线。这种被氧化颗粒的表面生成一层氧化铁薄膜, 而颗粒内所含的碳元素在高温下极易与氧结合生成一氧化碳, 又把氧化铁还原成铁, 铁再与空气氧化, 又被碳还原。如此多次重复, 以致颗粒内聚积越来越多的一氧化碳气体, 在压力足够时便冲破表面氧化膜, 发生爆裂, 形成爆花。而流线和爆花的色泽、数量、形状、大小同试样的化学成分和物理特性有关, 这就是鉴别的依据。

2. 火花束组成

(1) 火花束 钢材在砂轮上磨削时, 产生的全部火花叫火花束, 整个火花束分为根部火花、中部火花和尾部火花, 简称根花、间花、尾花, 其示意图如图 1-1 所示。

(2) 火花 火花由流线、节点、爆花、芒线、花粉和尾花所组成, 其示意图如图 1-2 所示。

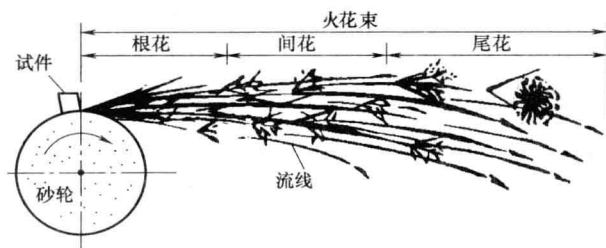


图 1-1 火花束组成

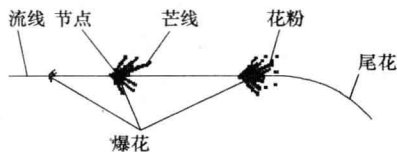


图 1-2 火花的主要名称示意图

(3) 流线 从砂轮上射出的火花束中, 呈线条状的亮线叫流线。每条流线都由节点、爆花和尾花组成, 由于钢的化学成分不同, 流线开头可分为直线流线、断续流线和波浪线流线, 如图 1-3 所示。

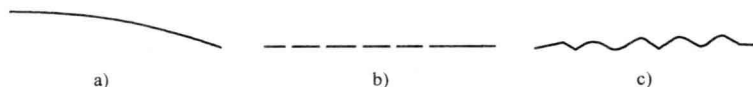


图 1-3 流线示意图

a) 直线流线 b) 断续流线 c) 波浪线流线

直线流线: 流线尾端到首端成一直线或抛物线。

断续流线: 流线呈断续虚线状线条。

波浪线流线: 整个流线中的某一端成波浪形线条。

(4) 节点 节点就是流线上火花爆裂的原点, 较流线粗胖和明亮。

(5) 芒线 节点爆裂时射出的发光线条, 也可以说是连接在流线上的分叉直线叫芒线 (又称分叉)。随碳含量增高, 分叉增多, 有二根分叉、三根分叉、四根分叉和多根分叉, 如图 1-4 所示。

(6) 花粉 分散在爆花芒线间的点状火花称为花粉。

(7) 爆花 流线中途爆裂所产生的光亮火花或节点处爆裂的火花称为爆花 (又称节



图 1-4 芒线示意图

a) 二根分叉 b) 三根分叉 c) 四根分叉 d) 多根分叉

花)。爆花由节点和芒线组成，爆花随流线上芒线的爆裂情况，有一次花、二次花、三次花和多次花之分，如图 1-5 所示。

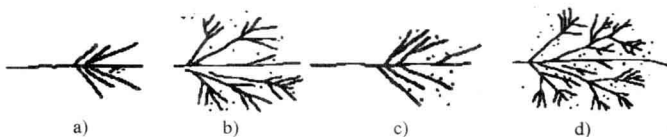


图 1-5 爆花示意图

a) 一次花 b) 二次花 c) 三次花 d) 多次花

一次花：流线上首次爆裂的较细长芒线所组成的爆花。

二次花：由流线上的首次芒线与首次芒线再次爆裂分叉出的二次芒线所组成的爆花。

三次花：由二次芒线上与其再次爆裂分叉出的三次芒线所组成的爆花。

(8) 尾花 流线尾端呈现出不同形状的爆花称为尾花。钢的化学成分不同，尾花的形状也不同，通常尾花的形状可分为直线尾花、直羽尾花、狐尾花、点状狐尾花、枪尖尾花、钩状尾花等，如图 1-6 所示。

直线尾花：尾端和整根流线方向相同。

直羽尾花：流线根部细尾端呈羽毛状火花，如图 1-6a 所示。

狐尾花：流线尾端逐渐膨胀呈狐狸尾巴状火花，如图 1-6b 所示。

点状狐尾花：流线根部细且呈断续状，尾部变粗，形成点状狐尾花，如图 1-6c 所示。

枪尖尾花：流线尾端膨胀呈三角形枪尖状火花，如图 1-6d 所示。

钩状尾花：流线尾端有与流线脱离的细小钩状尾花，它是高硅含量（3% ~ 5%）元素的特征，如图 1-6e 所示。



图 1-6 尾花示意图

a) 直羽尾花 b) 狐尾花 c) 点状狐尾花 d) 枪尖尾花 e) 钩状尾花

(9) 苞花 在流线尾部产生，多数与爆花稍间隔，略近于节点，它是镍元素的特征。随着钢中镍含量的不同有以下两种苞花。

粗划苞花：在流线上一段呈长方形的比较粗的发光点而尚未爆裂，如图 1-7a 所示。

鼓肚苞花：在流线上有一段如腰鼓状，两端小中间膨胀的发光点而尚未爆裂，如图 1-7b 所示。

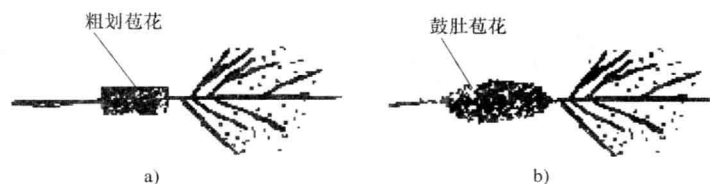


图 1-7 苞花示意图

a) 粗划苞花 b) 鼓肚苞花

3. 碳含量对碳素钢的火花特征影响

(1) 对火花束的影响

1) 对火花束流线长度的影响：流线长度在碳含量小于 0.5% 时随碳含量的增加而加长，碳含量为 0.5% 左右时流线的长度最长，当碳含量大于 0.5% 后，流线长度随碳含量的增加而变短。

2) 对火花束流线亮度的影响：流线的亮度随碳含量的增加，规律为暗—明—暗。

3) 对火花束流线颜色的影响：火花束的流线颜色随碳含量的增加从亮黄向橙红色过渡。

(2) 对火花爆裂的影响

1) 对火花爆裂形式的影响：爆裂情况随碳含量增加分叉增多，且形成二次花、三次花，甚至更复杂。

2) 对火花爆裂大小的影响：爆裂情况随碳含量增加而增大，在碳含量为 0.5% 左右时最大。

3) 对火花爆裂数量的影响：火花爆裂由少变多，花粉增多。

碳素钢火花爆裂示意图如图 1-8 所示。

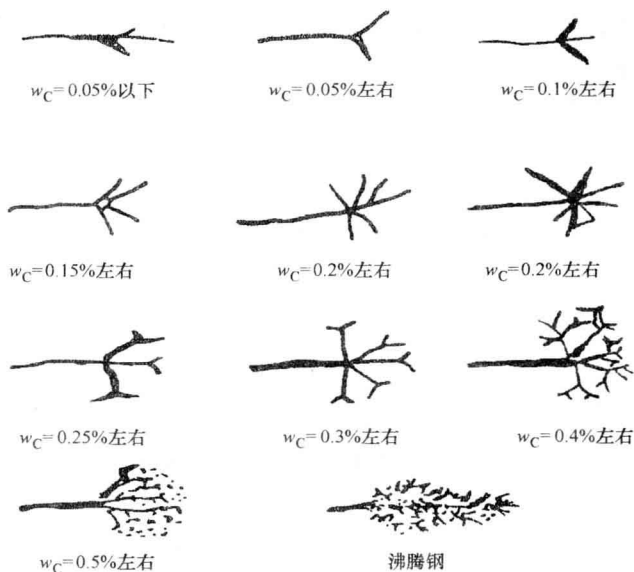


图 1-8 碳素钢火花爆裂示意图

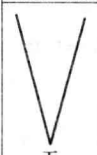
$w_C(\%)$	流 线					分 枝					手的 感觉
	色	亮度	长度	粗细	数量	形 状	大小	花 粉	数量	刺	
0	橙色	暗	长	粗	少	无 分 枝					软
0.05						2分枝	小	无	少	发生于花根	
0.1						3分枝		无		发生于花根	
0.2						多分枝		无		发生于花根	
0.3						多分枝2段花		开始附着		发生于花根	
0.4						多分枝3段花		有			
0.5	明	长	粗			大					
0.6											
0.7											
0.8											
0.8以上										红色	暗

图 1-9 碳素钢不同碳含量的火花特征图表

不同碳含量的火花特征如图 1-9 所示。碳素钢不同碳含量的火花特征变化曲线如图 1-10 所示。碳素钢由于冶炼方法、化学成分、物理特性的不同，火花特征也有差异。

碳素钢不同碳含量的火花示意图如图 1-11 所示。碳素钢的火花比较容易辨别，钢中碳对火花影响最显著，随着碳含量的增加，流线数量和爆花数量都急剧增加，含碳越多，爆花及爆裂越多，火花数越多，形态越复杂。以碳含量为 0.5% 左右时流线最为明亮粗长，爆花也最大；但碳含量超过 0.8% 以后，增多的趋势逐渐缓和。

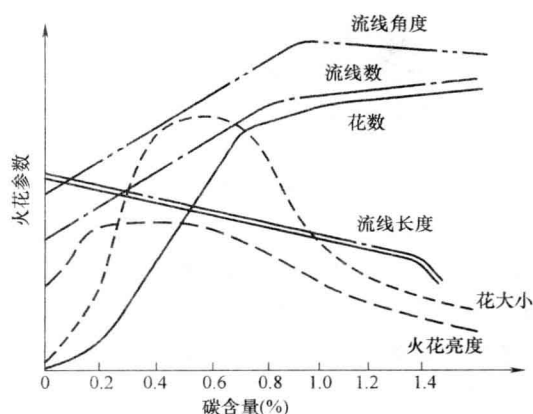


图 1-10 碳素钢不同碳含量的火花特征变化曲线

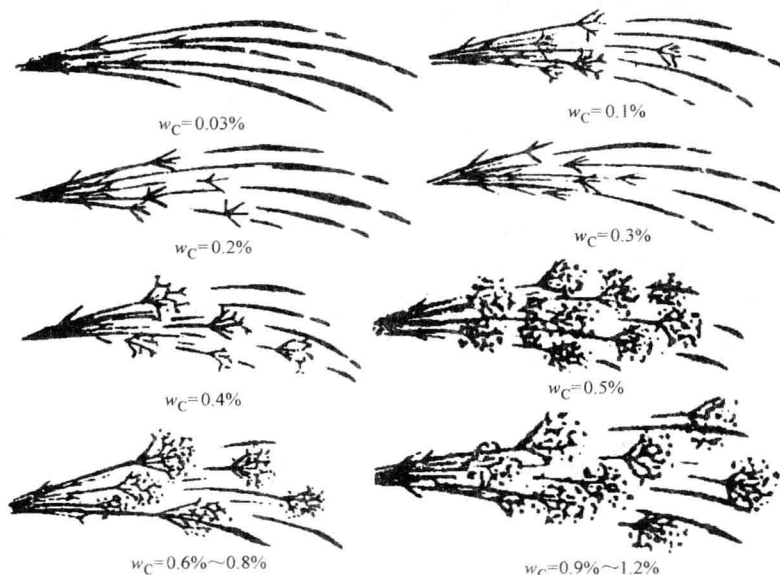


图 1-11 碳素钢不同碳含量的火花示意图

4. 常用合金元素对火花特征的影响

钢材中由于各种合金元素的加入及加入量的多少, 都会对钢材火花的特征产生影响。主要表现为对火花爆裂有助长、抑制和消除这三方面的影响。

(1) 铬 (Cr) 对火花的影响 铬对火花的影响如图 1-12 所示。铬元素是有助于火花爆裂的元素, 它使火花的爆裂甚为活泼, 火花束色泽变得明亮, 分叉多而细, 流线趋短并伴有明亮的节点, 花型较大。当铬含量为 0.8% ~ 20% 时, 手感硬, 爆花呈大星形, 分叉增多并较细, 同时附有很多碎花粉。



图 1-12 铬对火花的影响示意图



图 1-13 锰对火花的影响示意图

(3) 硅 (Si) 对火花的影响 硅元素是抑制火花爆裂的元素, 流线色泽呈红色光辉, 火束略短, 流线较粗。硅含量超过 0.55% 时, 其火花会出现喇叭花, 且花间有较多的白色亮圆珠状闪光点, 如图 1-14a 所示; 硅含量为 0.8% ~ 2.5% 时, 火花束较短, 流线变粗, 火花数量及爆裂程度将减少, 火花束呈红色; 硅含量为 3% ~ 5% 时, 流线末端将出现有短小而稍与流线脱离的钩状尾花, 如图 1-14b 所示。



图 1-14 硅对火花的影响示意图

a) $w_{\text{Si}} > 0.55\%$ b) $w_{\text{Si}} = 0.8\% \sim 2.5\%$

(4) 钨 (W) 对火花的影响 钨元素是抑制火花爆裂的元素, 并细化流线, 对火花的影响如图 1-15 所示, 图 1-15a 是钨含量为 0.2% ~ 2.6% 时, 对火花的影响示意图, 火花流线呈深红色, 根部较细, 几乎不发生爆裂, 中部和尾部逐渐变大, 呈狐尾形花, 狐尾根部有很细小的爆花。钨含量大于 4.5% 时, 手感硬, 火花的流线颜色呈暗红色, 其根部细且呈断续状, 尾部变粗, 形成了具有点状狐尾花的特征, 如图 1-15b 所示。



图 1-15 钨对火花的影响示意图