

热处理手册

第四分册

机械工业出版社

热 处 理 手 册

第 四 分 册

《热处理手册》编委会 编

机 械 工 业 出 版 社

《热处理手册》包括四篇和一个附录。第一篇介绍热处理基本原理、各种热处理工艺及热处理缺陷防止措施；第二篇介绍机械工业中有关典型零件的热处理工艺；第三篇介绍各种热处理设备、热处理车间设计及热处理过程的机械化与自动化；第四篇介绍热处理质量的检验方法；附录内列出了常用钢的成分、力学性能、等温及连续转变曲线、淬透性曲线以及有关的工艺性能数据，同时还列出了有关物理量的换算关系。全书按四个分册出版：第一、二、三各篇分别为第一、二、三分册，第四篇和附录合为第四分册。本书是第四分册。

本手册主要是供机械工业的广大热处理工人、技术人员和干部使用，也可供科研和教学参考。

热 处 理 手 册

第 四 分 册

《热处理手册》编委会 编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

民族印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $4 \frac{11}{16}$ · 字数 656 千字

1978 年 8 月北京第一版 · 1978 年 8 月北京第一次印刷

印数 00,001—50,000 · 定价 90 元

统一书号：15033 · 4371

几点说明

建国以来，在毛主席革命路线指引下，广大热处理工人、技术人员和干部，以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，贯彻独立自主、自力更生的方针，在热处理工艺、装备、测试以及理论研究等方面都取得了显著成绩，为提高机械产品质量、多快好省地发展机械工业作出了一定的贡献。为了适应机械工业高速发展的需要，使热处理技术更好地为社会主义革命和社会主义建设服务，我们组织编写了这本《热处理手册》。现作如下几点说明：

1. 《热处理手册》主要是供机械工业的广大热处理工人、技术人员和干部使用的综合性工具书，也可供有关科研、设计、检验人员和院校教师、学员参考。

2. 本手册由一机部机械研究院、一机部技术情报所、上海热处理厂、哈尔滨工业大学、一机部机械院机电研究所、上海工具厂、上海电炉厂、第一汽车制造厂、武汉材料保护研究所、上海市机械制造工艺研究所、山东工学院共十一个单位组成编委会，并组织有关工厂、科研、设计及院校共四十四各单位集体编写而成。在编写过程中，按章节组成了三结合编写小组，经过广泛地调查研究、集体编写、行业征求意见、全书审查等过程，最后由主编单位（一机部机械研究院、一机部机械院机电研究所、哈尔滨工业大学）在文字和内容上作了适当的删减和修改。在编写过程中，曾得到全国许多工厂、科研、设计单位及院校的热情帮助和大力支持，许多单位的工人、技术人员和干部主动提供宝贵经验和试验数据，并积极参加审稿，对丰富手册内容和提高手册质量起了很大作用，在此一并表示感谢。

3. 由于我们的水平有限和经验不足，本手册中可能会有不少缺点和错误，希望广大读者批评和指正。随着机械工业的发展，

热处理方面必将出现更多的新鲜经验，热忱欢迎广大读者经常给我们提供有关经验和资料，以便今后修订再版时参考。

参加本分册编写的单位有：

上海材料研究所；西安交通大学；
上海自行车三厂；第一汽车制造厂；
一机部机械院机电研究所；汉川机床厂。

《热处理手册》编委会

目 录

第四篇 热处理质量检验及试验方法

第一章 钢种的火花鉴别	4-1
第一节 试验设备及方法	4-1
第二节 火花的形状及成因	4-2
一、火花的形状	4-2
二、火花形成的原因	4-5
第三节 不同钢种的火花图谱	4-5
一、碳素钢的火花	4-6
二、合金钢的火花	4-10
第二章 宏观及显微组织检验方法	4-19
第一节 宏观检验	4-19
一、钢的酸蚀试验	4-19
二、印痕显示成分偏析的方法	4-28
三、有色合金的宏观检查	4-29
第二节 断口检验	4-30
一、断口试样的制备	4-30
二、断口的检查方法	4-31
三、断口类型	4-31
第三节 显微组织检验	4-45
一、金相试样的制备和显示方法	4-45
二、显微检验设备	4-69
三、奥氏体晶粒大小测定	4-81
四、非金属夹杂物的检验	4-88
五、铸铁中石墨的评级	4-107
六、化学成分偏析的检验	4-114
第三章 力学性能试验方法	4-118
第一节 硬度试验	4-118
一、硬度试验的特点和应用	4-119
二、布氏硬度试验	4-119

三、洛氏硬度试验	4-126
四、维氏硬度试验	4-132
五、努氏硬度试验	4-136
六、显微硬度试验	4-139
七、肖氏硬度试验	4-139
八、莫氏硬度试验	4-141
九、各种硬度值之间及硬度与强度之间的换算	4-141
第二节 拉力试验	4-152
一、试样及试验机	4-153
二、应力—应变图	4-158
三、拉力试验各项指标的含义及求法	4-161
四、拉力试验断口分析	4-167
五、缺口试样拉力试验	4-168
六、高温短时拉力试验	4-170
七、低温拉力试验	4-171
第三节 压缩、弯曲及扭转试验	4-171
一、压缩试验	4-171
二、弯曲试验	4-176
三、扭转试验	4-179
第四节 一次冲击试验	4-184
一、横梁式冲击弯曲试验	4-184
二、系列冲击试验	4-188
三、影响冲击值的外在因素	4-190
四、整理一次冲击试验结果时的注意事项	4-192
五、其它类型的一次冲击试验	4-193
六、关于一次冲击试验的讨论	4-193
第五节 多次冲击试验	4-195
一、多次冲击试验机	4-196
二、多次冲击弯曲试验	4-199
三、多次冲击拉伸试验	4-201
四、关于多次冲击试验的讨论	4-202
第六节 疲劳试验	4-204
一、疲劳抗力指标	4-206

二、旋转弯曲疲劳试验	4-208
三、其它疲劳试验方法	4-212
四、热处理等工艺因素对疲劳性能的影响	4-213
第七节 磨损试验	4-216
一、磨损的一般概念	4-216
二、磨损的种类	4-217
三、磨损试验机及试样	4-218
四、磨损量的测量及表示方法	4-225
五、磨损试验注意事项	4-226
第八节 高温长时力学性能试验	4-228
一、蠕变试验	4-228
二、持久强度试验	4-234
三、应力松弛试验	4-237
四、高温长时力学性能的简易试验	4-241
第九节 断裂韧性	4-242
一、应力水平因子和断裂韧性的概念	4-243
二、断裂韧性 K_{Ic} 的测定	4-247
三、断裂韧性的一些应用	4-251
第四章 无损检验方法	4-257
第一节 零件的无损探伤方法	4-261
一、射线探伤	4-261
二、超声波探伤	4-267
三、磁粉探伤	4-275
四、渗透探伤	4-279
五、涡流探伤	4-283
第二节 热处理质量的无损检测	4-287
一、硬度的无损检查	4-287
二、表面硬化层深度的无损检查	4-303
三、混料的分选	4-312
四、用超声波法检测材料的弹性模量和性能	4-315
第五章 内应力测定方法	4-317
第一节 宏观应力的测定方法	4-317
一、机械法	4-317

二、X射线法	4-324
第二节 微观应力的测定方法	4-344
一、测量原理简介	4-345
二、测量方法	4-346
第三节 超微观应力的测定方法	4-351
一、测量原理简介	4-352
二、测量方法	4-352
第六章 相分析及相变过程的试验研究方法	4-354
第一节 相分析方法	4-354
一、相分析试样的制备	4-354
二、各种相分析法简介	4-366
第二节 临界点及膨胀系数的测定	4-374
第三节 奥氏体等温冷却及连续冷却转变图的测定	4-376
一、奥氏体等温转变曲线图(S曲线)的测定	4-376
二、连续冷却转变曲线的测定	4-379
第四节 残余奥氏体量的测定	4-386
一、金相法和磁性金相法	4-386
二、磁性法	4-386
三、X射线衍射法	4-387
第七章 腐蚀试验方法	4-389
第一节 概述	4-389
第二节 腐蚀试验方法	4-395
一、不锈钢晶间腐蚀试验	4-395
二、全浸和间浸腐蚀试验	4-397
三、应力腐蚀开裂试验和腐蚀疲劳试验	4-399
四、点腐蚀试验和缝隙腐蚀试验	4-409
五、电偶腐蚀试验	4-413
六、金属腐蚀的电化学测试方法	4-417
七、高温氧化试验	4-425
八、大气腐蚀试验	4-429

附 录

一、常用物理、化学数据	附-1
-------------	-----

(一) 化学元素的物理性能	附-2
(二) 常见的碳化物和金属间化合物的点阵结构	附-8
(三) 化学元素周期表	插页
二、度量单位及其换算表	附-9
(一) 长度单位及其换算表	附-9
(二) 面积单位及其换算表	附-15
(三) 体积和容积单位换算表	附-18
(四) 重量单位换算表	附-19
(五) 应力单位及其换算表	附-20
(六) 功、功率单位及其换算表	附-25
(七) 热工单位及其换算表	附-26
(八) 温度单位及其换算表	附-27
三、常用钢种的牌号、化学成分、临界温度及力学性能	附-32
(一) 我国钢号的表示方法	附-32
(二) 常用钢种的化学成分	附-37
1. 普通碳素钢	附-37
2. 优质碳素结构钢	附-38
3. 易切结构钢	附-39
4. 普通低合金结构钢	附-40
5. 合金结构钢	附-42
6. 弹簧钢	附-54
7. 滚动轴承钢	附-56
8. 碳素工具钢	附-58
9. 合金工具钢	附-60
10. 高速工具钢	附-68
11. 不锈、耐酸、耐热钢	附-70
12. 碳素钢铸件	附-78
13. 合金结构钢铸件	附-78
(三) 常用钢种的临界温度	附-79
(四) 普通碳素钢及普通低合金结构钢的力学性能	附-84
四、常用钢种热处理工艺参考数据	附-87
(一) 钢中奥氏体等温转变曲线	附-87
1. 优质碳素结构钢	附-91

2. 普通低合金结构钢	附-99
3. 合金结构钢	附-101
4. 弹簧钢	附-151
5. 滚动轴承钢	附-161
6. 碳素工具钢	附-167
7. 合金工具钢	附-175
8. 高速工具钢	附-198
9. 不锈钢耐热钢	附-204
10. 铸钢	附-211
(二) 钢中奥氏体连续冷却转变曲线	附-213
1. 优质碳素结构钢	附-214
2. 合金结构钢	附-216
3. 弹簧钢	附-229
4. 滚动轴承钢	附-231
5. 碳素工具钢	附-232
6. 合金工具钢	附-234
7. 不锈钢耐热钢	附-241
(三) 钢的淬透性曲线	附-242
1. 优质碳素结构钢	附-244
2. 合金结构钢	附-252
3. 弹簧钢	附-279
4. 滚动轴承钢	附-283
5. 碳素工具钢	附-286
6. 合金工具钢	附-287
(四) 淬火钢在不同温度回火后的力学性能曲线	附-293
1. 优质碳素结构钢	附-295
2. 合金结构钢	附-304
3. 弹簧钢	附-322
4. 滚动轴承钢	附-326
5. 碳素工具钢	附-326
6. 合金工具钢	附-333
7. 高速工具钢	附-343
8. 不锈钢耐酸钢	附-346

第四篇 热处理质量检验 及试验方法

第一章 钢种的火花鉴别

(上海市自行车三厂)

为防止混料，保证热处理零件的质量，常需对原材料及零件的化学成分作初步鉴别。钢种的火花鉴别是初步核查钢材成分的常用方法之一。同时，对渗碳后表面含碳量、氮化处理的质量和钢的表面脱碳程度等也能作定性或半定量分析。火花法快速简便，适合于车间现场使用。但钢中某些合金元素（如镍、铬、锰等）含量较低时，对碳素钢火花的影响不明显；硫、磷、铜、铝、钛等元素尚不能用火花法加以鉴定，这是火花法的局限性。

第一节 试验设备及方法

火花鉴别法所用的主要设备是砂轮机，有手提式和台式两类，一般采用中硬度 36~60 号普通氧化铝砂轮。

鉴别时，为了防止可能发生的错觉或误差，应备有已知化学成分的所需牌号钢作为标准样块，在实际鉴别中如发生疑问，可将标准样块与被检钢材进行比较。

试验前，戴上无色平光眼镜。试验宜在暗处进行，如在室外进行时，必须避免阳光的直射而影响火花的色泽及清晰程度。由于砂轮直径与转速会直接影响火花的形式，因此，当砂轮直径因磨损而过小时，需换上新砂轮；转速一般以 2800~4000 转/分为宜。在钢料接触砂轮圆周面磨削时，要压力适中，使火花束大致

向略高于水平方向发射，并仔细观察火花束的长度和各部位花型特征。

第二节 火花的形状及成因

一、火花的形状

钢样在砂轮上磨削时所发射出的火花束可分为根部火花、中部火花和尾部火花三部分。如图 4-1-1 所示。

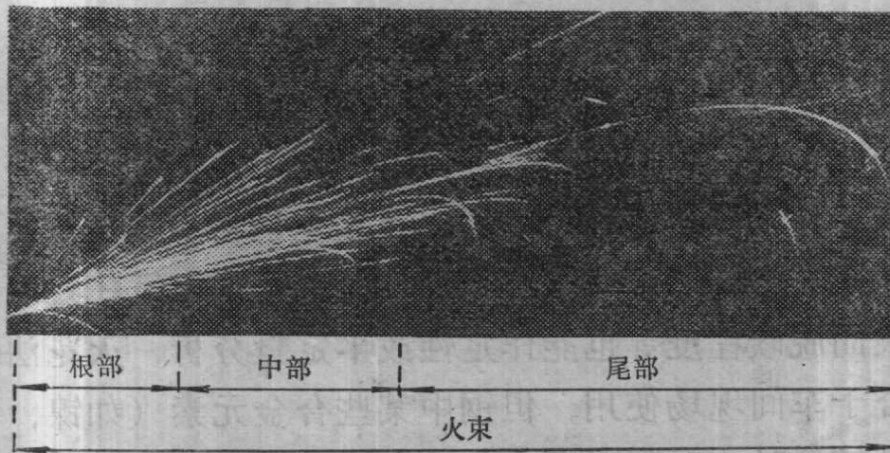


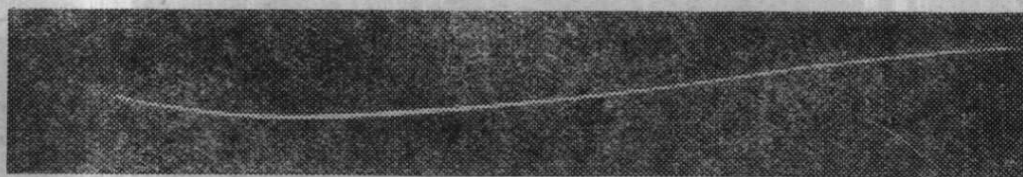
图 4-1-1 火花束各部位的名

火花束由流线、节点、爆花和尾花等组成。

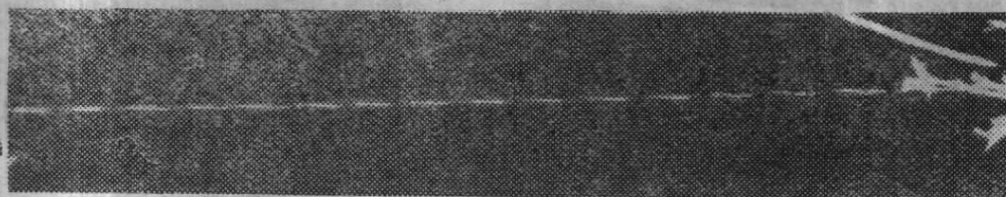
流线 流线分为直线流线、断续流线、波状流线和断续波状流线等几种形式。钨钢、铬钢、高合金钢和灰口铸铁等均有断续流线形式，其色泽呈暗红或暗橙色，靠近砂轮的流线显得最明显。波状流线不常见，有时仅在火花束中偶而夹杂着一、二条。各种流线的形式如图 4-1-2 所示。

节点 流线上明亮而又稍粗的点称为节点，其温度较流线其他部分为高。

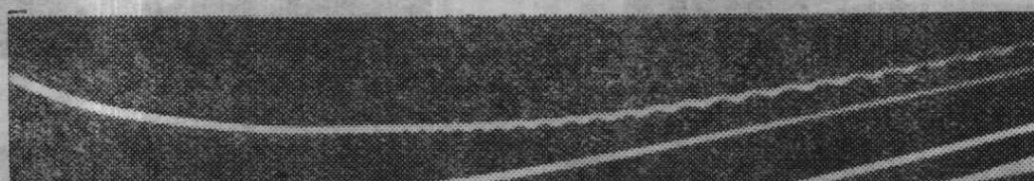
爆花 爆花分布在流线上，以节点为核心，是碳元素专有的火花特征。爆花的形式随含碳量和其他元素的含量、温度、氧化性及钢的组织结构等因素而变化，所以爆花形式在钢的火花鉴别中占有相当重要的地位。爆花爆裂而产生的若干聚集之短流线称



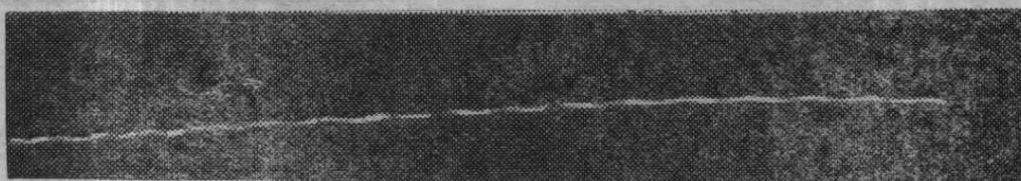
直线流线



断续流线



波状流线



断续波状流线

图 4-1-2 各种流线的形式

为芒线。只有一次爆裂的芒线称为一次花,在一次爆花的芒线上,又一次发生爆裂时所呈现的爆花称为二次爆花等等。因此,爆花又分为一次花、二次花、三次花及多次花,它们大致分别与含碳 0.2%以下、0.3%左右、0.45%以上的碳钢火花特征相对应。按照芒线的数量又有二根分叉、三根分叉、四根分叉和多根分叉之别,分叉随碳量增高而增多。各种爆花的形式如图 4-1-3 所示。

尾花 尾花是在流线尾部末端所呈现的特殊形式火花的统称。有狐尾尾花和枪尖尾花之分。狐尾尾花是钢中含有钨的火花特征,这种尾花的长度和数量随含钨量的不同而变动。一般认为

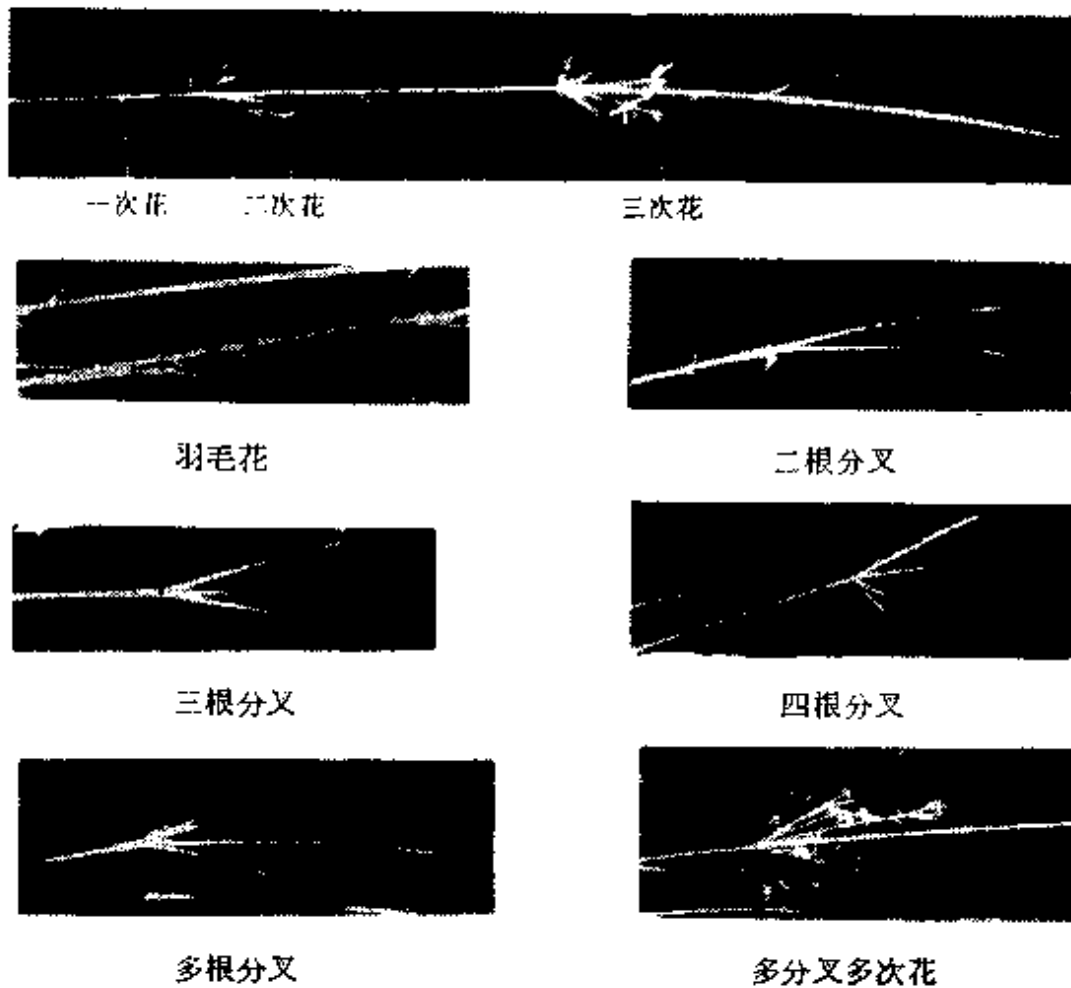


图 4-1-3 爆花的各种形式

枪尖尾花是钢中含有钼(1%左右时)的火花特征,形如枪尖,与流线呈脱离状态。虽在碳钢及其它不含钼的钢中也能见到枪尖尾花的形象(如图4-1-3中的二根分叉、三根分叉和多根分叉所示),但其枪尖是在分叉上呈直线脱离,而钼钢火花的枪尖尾花是在流线上呈明显的下垂脱离,这是两者明显的区别。图4-1-4为



图 4-1-4 15 Al 3 MoWTi 钢火花

15 Al3MoWTi 钢的火花图，枪尖尾花呈现得很清楚。

二、火花形成的原因

钢样经高转速砂轮的磨削被磨成屑状颗粒，并沿砂轮旋转的切线方向激烈地向前抛射，具有一定温度的钢粒被空气中的氧激烈氧化，温度急剧升高，钢粒表面形成一层固态的 FeO 薄膜 ($2\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{FeO}$)。由于钢粒内含有碳元素，在高温下，碳极易与氧结合而生成一氧化碳 ($\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$)。这时，被还原的铁再度被空气氧化，然后又再次被还原，这种反应的多次重复使内部积聚了相当多的 CO 气体，但固态 FeO 薄膜约束着 CO 气体的外逸。当膨胀力大于外压力时，CO 就突破表面氧化铁薄膜的约束，使钢粒粉碎而逸出，呈现爆花状。高温钢粒在空间运行的这种轨迹，就是人眼所感觉到的一条条光亮的线（流线）和光亮的花（爆花）。

钢粒经一次爆裂后，若在碎粒中仍残留着未参加反应的铁和碳的微粒，将继续发生氧化反应和再次发生爆裂，这就是形成二次以上爆花的原因。所以，钢粒中碳量越高，则多次爆裂的间距也越短，火花爆裂的次数和爆花量也越多。

流线与爆花的色泽（颜色的明暗）表征着钢粒在运行时所具有的温度。温度越高，火花束的色泽越趋于明亮（呈黄白、亮白色），反之，火花束的色泽深暗（呈暗红色）。然而钢粒热量的获得不单纯与一氧化碳的生成有关，还受其它多方面的影响，因此火花束的色泽不仅与含碳量的高低有关，还与钢的合金元素含量、钢粒的氧化性能和氧化程度等因素有关。

第三节 不同钢种的火花图谱

在火花鉴别时，主要靠观察所发生的流线、爆花及其色泽等来鉴别钢铁的牌号。火花的变动，一般以碳素钢的火花为基础，然后讨论加入合金元素后对火花的影响。

一、碳素钢的火花

碳素钢的火花有很多直线流线。其火花形式的变动，即爆花量的多少、花形的大小、流线的数量、长短、粗细及其色泽等是随含碳量增加而逐渐变化的。

纯铁（含碳0.04%以下）的火花示于图4-1-5。其流线粗而短，量稀少，根部与尾部的色泽与流线粗细有较大的差别。纯铁虽为无爆花直流线，但因纯度不同，在整个火花束中有时也稀落地杂有二、三分叉的爆花，爆裂强度微弱，角度较小，芒线较细。

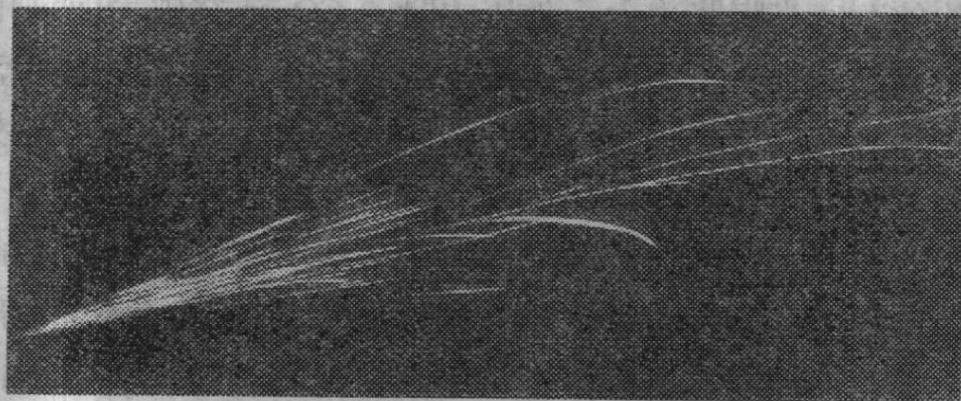


图 4-1-5 纯铁（含碳0.04%以下）的火花

含碳量0.05~0.10%钢的火花示于图4-1-6。其流线粗，呈弧形，长度中等，量仍较少，具有草黄带红的色泽；爆花量少，呈三、四分叉的一次花形式，爆裂强度较弱，芒线粗长，爆花位于流线的中尾部之间，流线与爆花明晰，无杂乱现象。



图 4-1-6 含碳0.05~0.10%钢的火花