

工 模 具 热 处 理

天津市工业展览馆热处理专业组 编
天 津 大 学 金 相 教 研 室

工 模 具 热 处 理

天津市工业展览馆热处理专业组 编
天 津 大 学 金 相 教 研 室

*

天津人民出版社出版

(天津市赤峰道124号)

天津市第一印刷厂印刷 天津市新华书店发行

*

开本787×1092毫米 1/16 印张14 3/4 插图8 字数326,000

一九七四年十一月第一版

一九七四年十一月第一次印刷

印数1—45,000

统一书号: 15072·25

每册: 1.36 元

毛 主 席 语 录

独立自主、自力更生、艰苦奋斗、勤俭建国

社会的财富是工人、农民和劳动知识分子自己创造的。只要这些人掌握了自己的命运，又有一条马克思列宁主义的路线，不是回避问题，而是用积极的态度去解决问题，任何人间的困难总是可以解决的。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

科

前 言

随着金属加工无切削、少切削新工艺及新钢种的推广使用，对冷锻、冷挤、精密锻造、精密铸造、塑料加工等所需要的工具、模具，在质量和数量上要求也越来越高。为了帮助广大热处理工人掌握热处理理论，提高工具、模具热处理工艺水平，解决热处理技术革新的一些问题，并交流有关经验，天津市工业展览馆热处理专业组和天津大学金相教研室，在毛主席革命路线的指引下，于一九七一年共同举办了工模具热处理业余学习班。这本书就是学习班中工人、革命教师和专业研究人员根据共同编写的讲义整理而成的。它阐述了钢的热处理的基本规律，介绍和分析了一些工具、模具的热处理工艺实例，工模具的质量检验和缺陷分析，以及工模具热处理的设备，还在附录中列出了有关技术资料和金相图谱，供热处理工人在生产实践中参考。

由于编者马列主义水平不高，专业知识和实践经验不足，缺点和问题将会不少。希望同志们批评指正，以便改进和提高。

目 录

第一章 钢材的基本知识	1
第一节 我国钢材的分类和编号.....	1
第二节 钢铁的火花检查法.....	3
第三节 钢的机械性能简介.....	12
第二章 铁碳状态图及其应用	21
第一节 钢铁是由什么组成的.....	22
第二节 铁碳状态图.....	25
第三节 铁碳状态图在热处理中的应用.....	30
第四节 合金元素对铁碳状态图的影响.....	32
第三章 钢在加热和冷却时的转变	35
第一节 钢在加热时的组织转变.....	35
第二节 钢在冷却时的组织转变.....	38
第四章 淬火钢在回火时的组织转变	58
第一节 回火温度和时间的确定.....	58
第二节 回火转变过程.....	59
第三节 合金元素对回火过程的影响.....	62
第五章 切削工具的热处理	64
第一节 切削工具用钢及其热处理.....	64
第二节 切削工具的热处理工艺实例.....	80
第三节 切削工具钢热处理缺陷分析.....	87
第六章 冷变形模具的热处理	93
第一节 冷变形模具钢.....	93
第二节 冲裁模的热处理.....	106
第三节 冷墩与冷挤压模的热处理.....	125
第四节 拉伸模的热处理.....	136
第五节 中小型冷轧辊的热处理.....	141
第六节 模具热处理中变形的分析和矫正.....	147

第七章 热变形模具的热处理	160
第一节 热锻模的热处理	160
第二节 压铸模的热处理	171
第三节 塑料模的热处理	180
第八章 工模具热处理常用设备	187
第一节 常用热处理设备的分类	187
第二节 电阻炉	188
第三节 盐浴炉	195
第四节 坑式燃煤加热炉	205
附 录	
一、 常用工具钢的牌号及化学成分	207
二、 常用工具钢的热处理温度与硬度	208
三、 常用工具钢在不同回火温度后的硬度值	209
四、 热处理常用盐浴成分	209
五、 淬火冷却介质	210
六、 热处理常用化学药品及其特性	212
七、 布、洛、维、肖氏硬度对照表	213
八、 摄氏与华氏温度对照表	215
九、 常用钢的奥氏体等温分解曲线	216
十、 热处理炉技术规格表	218
十一、 热电偶温度计刻度与绝对毫伏值查对表	220
十二、 工具钢标准金相图谱	224

第一章 钢材的基本知识

第一节 我国钢材的分类和编号

一、钢的分类

钢的分类方法主要有两种：一种是按照钢的化学成份分类；另一种是按钢的用途分类。

1. 按化学成份分类

按照钢的成份，可将钢分成碳素钢和合金钢两大类：

碳素钢：指含碳量小于2%的铁碳合金。除铁和碳以外，还含有少量硅、锰和杂质硫、磷。一般碳素钢中，硅 $<0.4\%$ ，锰 $<0.8\%$ 。

碳素钢在习惯上又分为低碳钢、中碳钢和高碳钢。

低碳钢——含碳量不超过 0.25% ；

中碳钢——含碳量在 $0.25\sim0.6\%$ 范围内；

高碳钢——含碳量在 $0.6\sim1.4\%$ 范围内。

合金钢：除铁碳以外，为了某种需要，还特意加入一定数量的合金元素（如硅、锰、钼、钒、钨、铝、钛等）这就叫做合金钢。习惯上将合金元素总含量在3%以下的叫低合金钢；在 $3\sim5\%$ 之间的叫中合金钢；总含量超过 5.5% 的叫高合金钢。

合金钢还常以所含的合金元素来命名，如含锰的叫锰钢，含硅锰的叫硅锰钢等等。

2. 按用途分类

根据用途的不同，钢可分为三大类：

结构钢：这类钢用来制造工程结构（如桥梁、船舶、高压容器等）和机器零件（如轴、齿轮等）。工程用钢一般在轧制或正火状态下使用，很少再进行热处理。为了便于焊接加工，工程用钢含碳量一般都在低碳钢范围内。做机器零件的机械制造用钢大多需要进行热处理。根据热处理的方法不同，机械制造用的结构钢又可分为渗碳钢和调质钢。渗碳钢的含碳量在 0.25% 以下，常需要经过渗碳、淬火和回火等热处理。调质钢的含碳量大多在中碳范围内，常需要对它进行调质热处理（淬火并高温回火）。

弹簧钢和滚动轴承钢习惯上也归为结构钢这一类。

工具钢：用以制造各种工具，如模具、刀具、量具。这类钢因为要求硬度比较高，所以一般含碳量也较高。只有热锻模和金属压铸模含碳量在 $0.3\sim0.6\%$ 范围内。

特殊性能钢：具有特殊物理和化学性能的钢的总称。包括不锈钢、耐酸钢、耐热钢、耐磨钢、磁钢等。

二、钢的编号

钢的编号应能反映钢的主要特点，如化学成分、质量等。此外钢号要求简明、通俗易懂。

目前我国钢的编号方法，是根据1963年12月批准的国家标准“GB221—63”。钢号能表达出钢的类型、主要元素的大致含量及冶炼方法等。

我们先举几个例子：

10：优质碳素结构钢，平均含碳量为0.10%。

T10A：高级优质碳素工具钢，平均含碳量为1.0%。

3Cr2W8V：平均含碳量为0.3%，大约含有2%Cr（铬）、8%W（钨）和少量的V（钒）的合金工具钢。

现根据国家标准，简要地介绍优质钢和高级优质钢的命名原则（普通碳素结构钢从略）。

1. 用汉字或汉语拼音的第一个字母表示钢的种类、用途、冶炼方法及质量。如第一个字母发生重复则采用第二个字母。常用的字母参看表1。

2. 用数字表示钢的平均含碳量。

不同类型的钢，含碳量的表示方法不同，国家标准有如下规定：

结构钢含碳量用两位数字表示，单位是万分之一，即0.01%。例如“10”表示含碳量为 $10 \times 0.01\% = 0.10\%$ 。

合金工具钢和特殊钢的含碳量用一位数字表示，单位是千分之一，即0.1%。例如9Mn2V，平均含碳量等于 $9 \times 0.1\% = 0.9\%$ 。当平均含碳量等于或大于1.0%时，则钢号中表示含碳量的数字可以省略。碳素工具钢的平均含碳量用一位至两位数字表示，单位仍是千分之一。例如T7的平均含碳量为 $7 \times 0.1\% = 0.7\%$ ，T12的平均含碳量为 $12 \times 0.1\% = 1.2\%$ 。

3. 用汉字或国际化学符号表示化学元素。常用化学元素（在合金钢中称为合金元素）参照表2。合金元素平均含量用数字表示，取其整数写在合金元素的后面，单位为百分之一，即1%。例如：Cr12，含铬为12%。平均含量超过1.5算作“2”，超过2.5算作“3”……依此类推。平均含量在1.5%以下可以不写出数字。

表1 钢号中汉语拼音字母应用举例

字母	汉字	汉语拼音	代表的钢种	应用举例	备注
T	碳	TAN	碳素工具钢	T10	
G	滚	GUN	滚动轴承钢	GSiMnV	我国新钢种
A	高	GAO	高级优质钢	T12A	用GAO的第二个字母
F	沸	FEI	沸腾钢	10F	
Y	易	YI	易切削钢	Y12	含碳平均为0.12%

表 2

常用合金元素的化学符号

元素名称	化学符号	元素名称	化学符号	元素名称	化学符号
碳	C	钨	W	铅	Pb
磷	P	钒	V	铝	Al
硫	S	钛	Ti	硼	B
硅	Si	铌	Nb	氮	N
锰	Mn	镍	Ni	稀土	Re
铬	Cr	钴	Co		
钼	Mo	铜	Cu		

我们再通过实例，加深对以上编号原则的认识和熟悉。拿来一种钢号，要做到五会：会读；会分析钢的平均含碳量；会估计合金元素的大致含量；会对它进行分类；会分析这种钢的大致用途和热处理。例如：

20Mn2TiB：读作20锰2钛硼。平均含碳量为0.20%；含有1.5~2%Mn，少量的钛和微量的硼。一般合金钢中钛的含量不超过1%，硼好比是钢中的“维生素”，不能多加，一般在0.001~0.005%范围内。这种钢含碳量在低碳范围内，又是低合金钢。用途大致是制造齿轮或其它要求表面耐磨又能承受冲击的零件。

9SiCr：读作9硅铬。平均含碳量为0.9%；硅和铬各含有1%左右；属于低合金工具钢；用来制造低速切削用的刀具，大致热处理规范是淬火及低温回火。

Cr12MoV：读作铬12钼钒。含碳量数字未标出，所以平均含碳量等于或大于1%（实际是1.45~1.70%）；含有12%的铬，1%左右的钼和钒（实际是0.5%Mo和0.2%V）；它属于高合金工具钢，大致热处理规范是淬火及低温回火，具体温度不能由钢号看出。在生产中，Cr12MoV多用作冷作模具。

1Cr18Ni9Ti：读作1铬18镍9钛。平均含碳量为0.1%；含有18%的铬和9%的镍，钛的含量不超过1%。这种钢含有大量合金元素铬和镍，它属于特殊钢中的一种，是不锈钢耐酸钢，可用来制造化工容器。

以下再举两个特殊的例子：滚动轴承铬钢的含铬量的表示方法与一般合金钢不同，单位是千分之一（0.1%）而不是百分之一（1%）。例如：GCr9与GCr15，G表示滚动轴承钢；含铬量分别为0.9%（ $9 \times 0.1\%$ ）和1.5%（ $15 \times 0.1\%$ ）。

低铬合金工具钢中的含铬量在1%以下，为了把含铬量表示出来，采用以下表示方法：例如平均含铬量为0.60%的低铬合金工具钢的钢号为Cr06。

我们学习钢的分类和编号，主要是为了正确地选用钢材并进行合理的热处理，以便为国家节约资金和钢材。要把高级钢材用在“刀刃”上。能用碳钢的就不要用合金钢，能用低合金钢的就不要用高合金钢。

第二节 钢铁的火花检查法

准确地掌握钢材的牌号，是正确制定和执行热处理工艺规范的前提。在生产中有时

会遇到工件的钢种与图纸上所标注的不符，如不能及时发现，就容易造成浪费或引起事故。因此，在热处理前有必要对工件的钢号进行检查。多年生产实践证明：火花检查是一种简便、迅速而有效的方法。

一、概述

高速旋转的砂轮会将钢材磨下许多细微粉末。由于摩擦的高热，使它们成为熔融的液滴。液滴在甩离砂轮的过程中，钢中的碳因氧化而成一氧化碳。当液滴内气体的压力超过其表面张力时，液滴将爆裂成火花。

钢中各种合金元素的存在，对火花的形状、流线、色泽、发火点等特征产生不同的影响。因此，可以通过观察火花的特征来判别钢材的大致成分。

作火花检查用的砂轮应是中软（ZR）刚玉砂轮（即氧化铝砂轮）粒度为40~60，砂轮外径约为150毫米。比较适用的砂轮机是双轮固定式的，功率为0.20~0.75瓩，转速为3000转/分。工作环境的光线要弱些，也要比较稳定，否则将会影响观察效果。

钢料在磨削时产生的全部火花，统称火束；靠近砂轮的火花叫根部火花；火束中间部分的花火花叫中部火花；火束末端部分的花火花叫尾部火花，见图1。

从砂轮上直接射出的好象直线的火流称为流线，流线在中途爆裂的明亮点称为节点。由节点射出细短的流线称为节花。流线末端的同向细线称为芒线，参看图2。

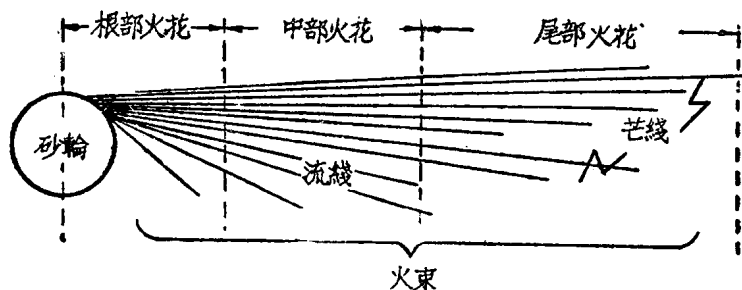


图1 火束结构

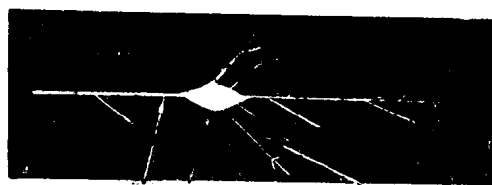


图2 爆花结构

根据火花爆裂的次数的多少，可分为一次花、二次花和三次花。按爆裂的程度不同又分为二根分叉、三根分叉、四根分叉和多根分叉的火花爆裂，如图3、4和5所示。随着钢中含碳量的增加，不但花次增多、分叉增多，在三次花团中还散布着许多亮点，称为花粉。含碳量愈高，花爆裂的角度愈大。

火花检查时磨出的火束应尽量接近水平，与目光垂直，以便全面观察。磨出的火束应保证足够的长度，使钢材的火花特征能充分显现，一般钢材的火束长度应在350~500毫米；合金工具钢、高速钢及特殊钢应在200~300毫米之间。火束的长短可由手的压力来调节。

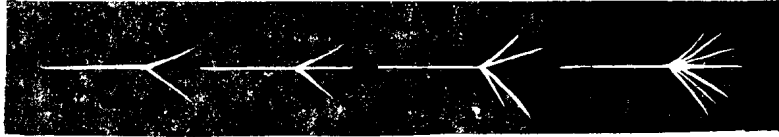


图3 一次花

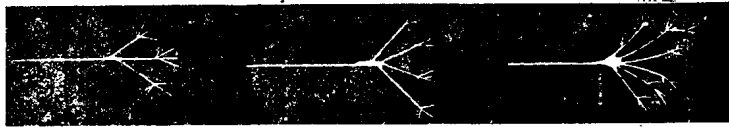


图4 二次花

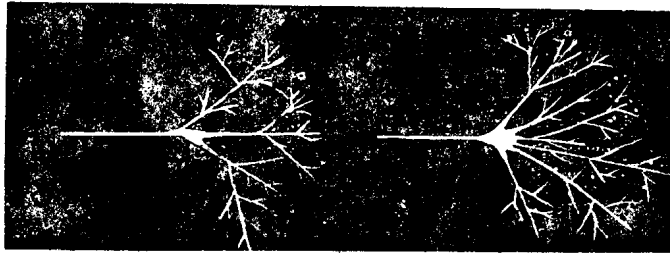


图5 三次花

二、碳素钢的火花检查

熟悉碳素钢的火花特征是掌握火花检查法的基础。含碳量对火花爆裂次数和爆裂程度的影响已如上述。除此之外，还要考虑火束的长短、流线的数量、粗细和色泽、亮度。这些规律总结于表3，供初学者参考。

从表3可以看出，钢中含碳量增加，火束长度开始有所增加，当钢的含碳量约为0.55%时火束最长。含碳量再增加火束又减短。随着钢中含碳量的增加，流线的数量增多，流线也愈来愈细。因为含碳量增高，钢的塑性降低，易于被磨成细末，所以流线增多变细，而且流线更直，呈放射状。低碳钢塑性好，磨削出的铁末较大，所以流线粗、数量少，而且流线弧度大，因为低碳钢的铁末微粒体积较大，很难完全氧化，所以流线暗。含碳量增至0.55%流线最亮。而高碳钢的流线又逐渐变暗，这同碳的氧化不完全有关。

图6到图12表示几种碳钢的火花图片，供我们在学习时对照参考。

表 3

碳素钢的火花特征

钢 号	火 束 长 度	流			线		芒 线		火			花		尾部特征
		数量	粗细	色 泽	长度	数量	数 量	形 态	花 粉					
10	较长	不多	稍粗	草黄带红	较短	少	少	三根分叉一次花	无	尾部下垂, 光色暗弱有枪尖尾花				
20	较长	较多	粗	同 上	短	少	稍 多	多根分叉一次花	无	同 上				
30	较长	较多	稍粗	黄 色	更短	少	较 多	四根分叉二次花	偶而出现	尾部稍有下垂				
40	长	多	较细	黄 色	短	稍多	多	三次花呈星形	少量花粉	尾部较平直				
55	最长	多	细	黄色根部稍暗	较长	稍多	很 多	多根分叉三次花星形且大	较 多	尾部挺直				
T 7	短	密	很细	黄 色根部稍红	长	较多	很多, 占全体的五分之四	多层三次复花	很 多	尾部缩短				
T 10	更短	更密	更细	橙红色根部暗淡	更长	多	特多, 占全体的六分之五	多层三次复花, 花团	极 多	尾部短而小				

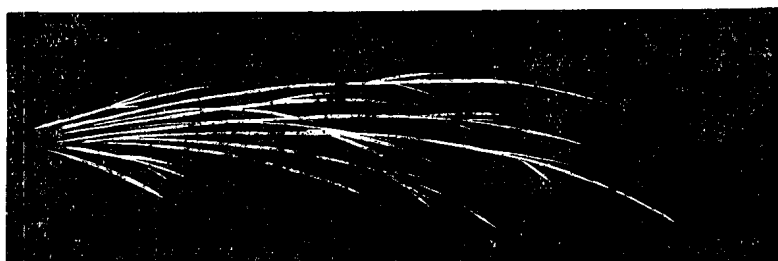


图 6 10钢火花



图 7 20钢火花

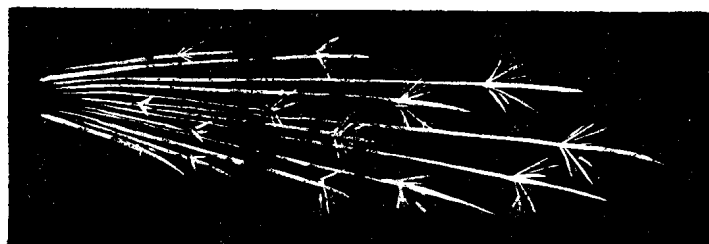


图 8 30钢火花

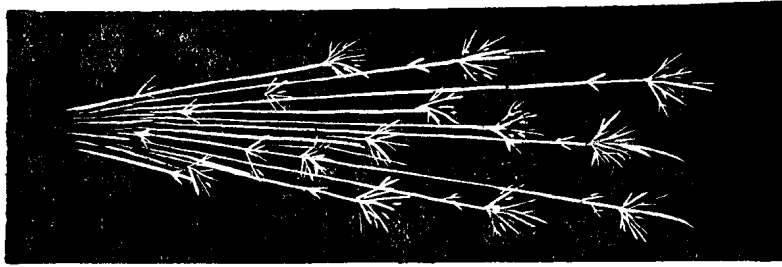


图9 40钢火花

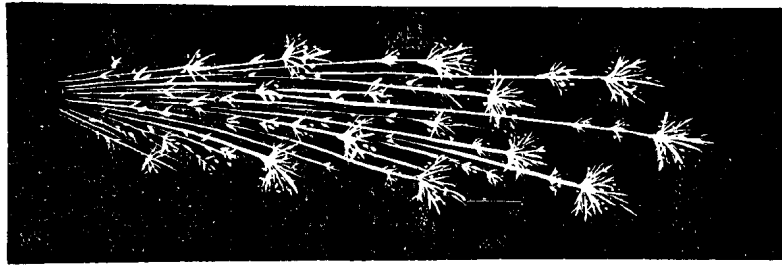


图10 60钢火花

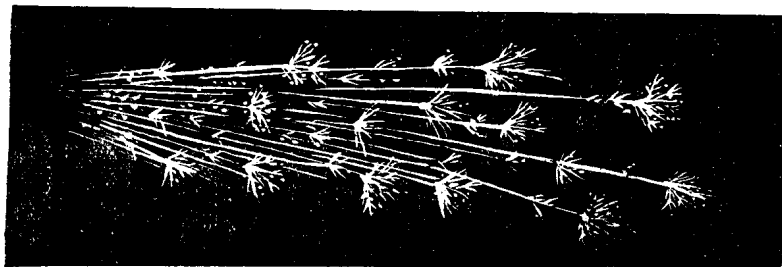


图11 T 7 钢火花

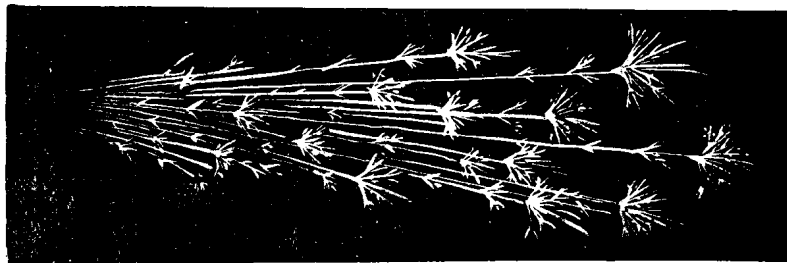


图12 T 8 钢火花

实践证明，碳钢的火花不但与含碳量有关，还与钢的组织状态有关。由于钢在淬火状态硬而脆，所以火花特征与退火状态不同。淬火的火花色泽较明亮，爆花数量多，爆裂强度大。我们在火花检查时应注意这方面的影响。砂轮的粒度和转速也有影响，所以火花检查用的砂轮机最好固定或专用。

三、合金钢的火花检查

由于合金元素的影响，合金钢火花的形式和种类较碳素钢火花复杂得多。但只要认

真实践，就可以掌握合金钢的火花特征，把数十种常用的合金钢火花区别开来。

1. 常用合金元素对火花的影响

铬的影响：铬助长火花的爆发。当铬含量在0.8~2%时，铬使火花呈大星形，分叉多而细，花粉增多，如图13所示。

锰的影响：锰也是强烈助长火花爆裂的元素。

当钢中含锰量在1~2%时，产生类似星形爆花，花粉很多，流线和芒线很细，花呈黄色。若含锰量在2%以上，则以上特征更显著，火束中有时产生特种的大花及小火团，像一盏盏小灯笼，如图14所示。由于锰的影响，在鉴定含碳量时，要适当减少含碳量才能正确判断出钢号和成分。

钒的影响：钒能帮助火花的爆裂，且使流线、芒线变成极细的细条。

以上三种元素属于助长火花爆裂的元素。而硅、钨、钼、镍、铝等元素属于抑制或消灭火花爆裂的元素

硅的影响：硅抑制火花的爆裂。使火束的色泽成为橙红色，火花数量和爆裂的程度都减少，往往会错认为低碳钢。一般合金工具钢、弹簧钢的含硅量大致在0.8~2.5%之间。含碳在0.55%以上的含硅钢会出现特殊的喇叭花，如图15所示。

钨的影响：钨强烈抑制火花的爆裂。含钨钢火束缩短，流线细而呈深红色，有时成为断续流线和波状流线。含钨较低的钢，特别明显的是出现狐尾花，如图16所示。含钨超过4%左右，火花明显地消失，只有在流线的尾部出现少数狐尾花。参看高速钢的火花图27和图28。

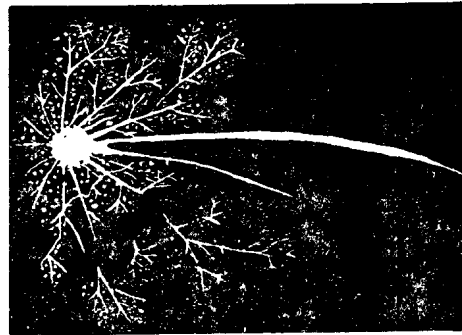


图13 大星形火花



图14 星 花

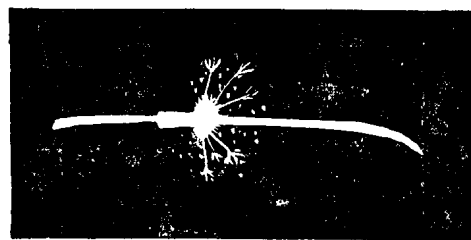


图15 喇叭花



图16 狐尾花

钼的影响：钼亦能抑制火花的爆裂，流线为红色，末端呈现特殊的枪尖状尾花（见

图17)。含钼在5%以上的钼高速钢，火束的流线呈暗桔红色，根部流线细而呈断续形状，而中部与尾部逐渐膨胀呈麦穗形状，这种尾花称麦穗尾花。



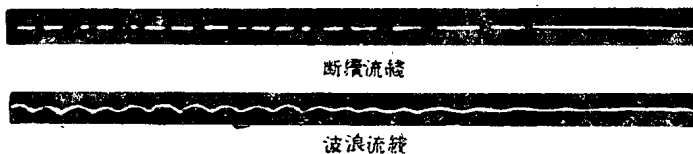
图17 枪尖状尾花

镍的影响：镍能抑制火花的爆发。钢中含镍量在1~2.5%时，流线中有椭圆形花苞，发火点强烈闪目，（见图18a）；含镍在2.5~4%时，花苞呈现长方形，同时火束缩短（见图18b）。当钢中含镍量在7~15%时，火花全部消灭；火束根部及中部有断续流线和波状线发生，色金黄，根部暗红，线条细而短，触觉抗力很大（见图18c）。



a) 椭圆形花苞

b) 长方形花苞



c) 断续流线和波状火花

图18 含镍钢的火花

以上介绍了合金元素单独存在及含量不同时对火花的影响。但我们常用的工模具钢很多是含有多种合金元素，即多元合金钢。几种合金元素同时存在时，它们对火花的影响比较复杂，不能认为总的影响就是各元素个别影响的相加。助长火花爆裂的元素铬和锰，在多元合金钢中并不一定保持原有的特性，往往相反地表现出抑制爆裂的特性或丧失原有的特性。在多元合金钢中，不能简单地认为，那种元素含量多，它就是决定火花特征的主要方面。含量的多少是有影响的，但还要看它影响的程度，有时含量少的元素反而成为决定火花特征的主要方面。例如：合金工具钢CrWMn，W的含量小于Cr和Mn的总和，但CrWMn钢的火花，W的影响占主导地位。

2. 工模具常用钢种的火花图

图19至图29列举了11种工模具常用钢种的火花图，供学习参考。

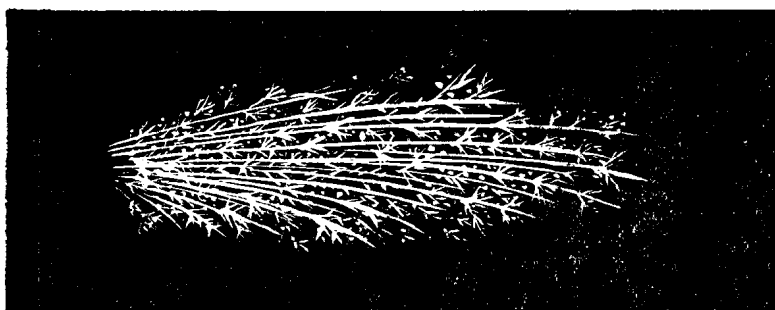


图19 T12钢火花

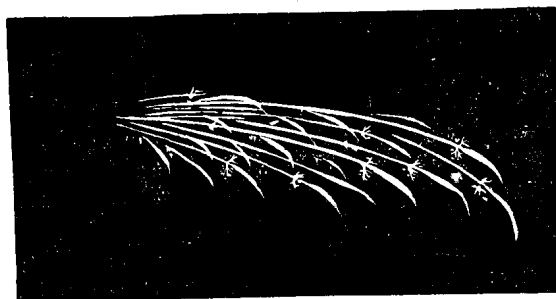


图20 9SiCr钢火花

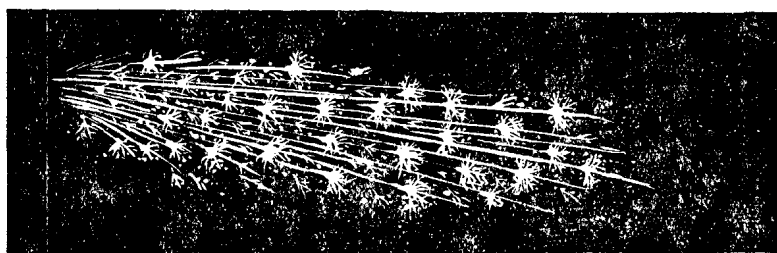


图21 GCr15钢火花

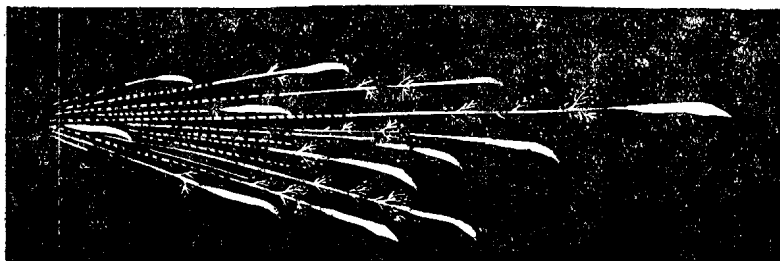


图22 CrWMn钢火花

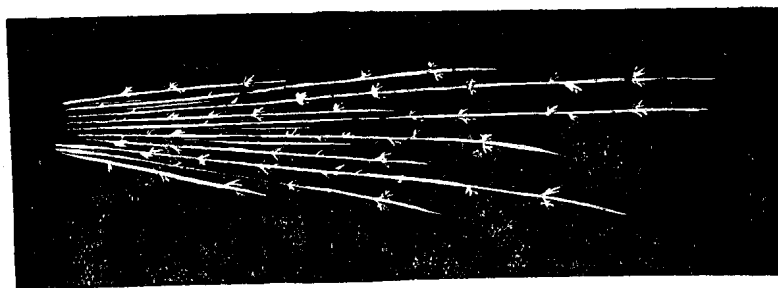


图23 60Si2钢火花



图24 Cr12MoV钢火花



图25 5CrMnMo钢火花

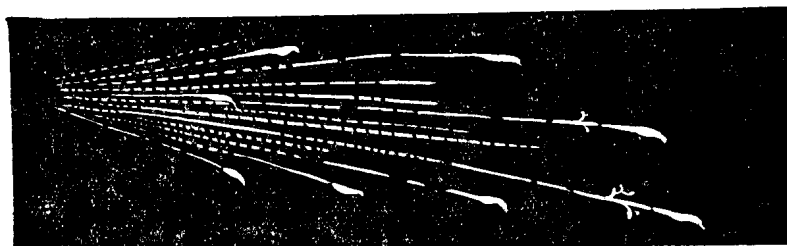


图26 3Cr2W8V钢火花

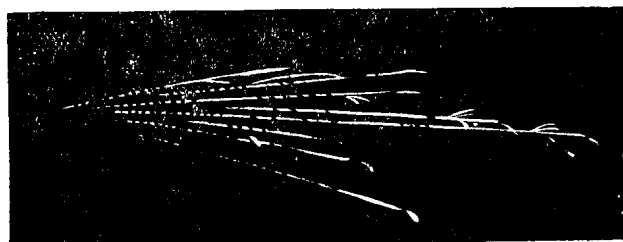


图27 W18Cr4V钢火花