

## 模具材料及热处理技术讲座(连载一)

# 火焰淬火技术及模具火焰淬火

南阳市华骏电源技术有限公司(河南南阳 473006) 杨凌平  
河南红阳机械厂技术中心 杨有才

**【摘要】**系统介绍了火焰加热表面淬火(文中简称为火焰淬火)技术,讨论了火焰淬火模具钢的基本特性;阐述了 7CrSiMnMoV 的火焰淬火工艺方法、力学性能及应用。

**关键词** 火焰淬火 模具 7CrSiMnMoV

## 1 概述

火焰淬火是利用可燃烧气体(如乙炔、丙烷等)与助燃气体(氧气)混合燃烧的火焰所产生的高温,对工件表面实施快速加热达奥氏体化温度,并采用适当冷却方式快速冷却,使工件表面得到硬化的一种热处理工艺方法。通过火焰加热表面淬火(硬化)的工件可获得很高的硬度和耐磨性,从而提高了工件的力学性能。

图 1 是火焰淬火示意图,图 1b 比图 1a 多了一个预热烧嘴,故可使硬化层深度增加,硬度分布梯度减小。火焰淬火后,如果硬度分布梯度太陡,则易造成硬化层剥落等缺陷。

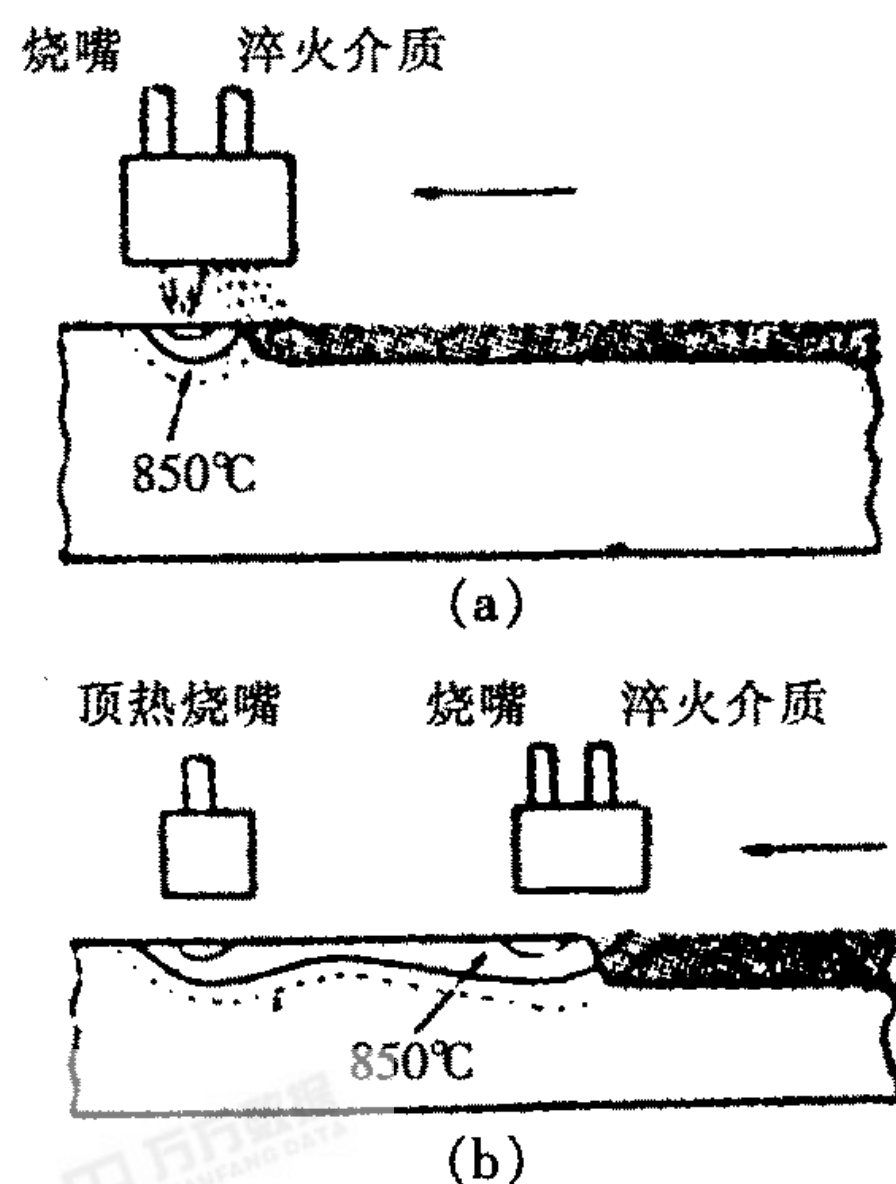


图 1 火焰淬火操作示意图

火焰淬火常用燃料特性如表 1 所示。

表 1 火焰淬火常用燃料特性

燃料名称	发热值 (kcal/m <sup>3</sup> )	火焰温度(°C)		爆炸界限 (容积)
		氧气助燃	空气助燃	
乙炔	12754	3100	2320	2.8~81
甲烷、天然气、沼气	8900	2700	1875	—
乙烷	22430	2640	1925	—
丙烷	23320	2750	—	2.3~9.5
城市煤气	7500~7900	2400	—	4.9~37.2

注: 1kcal/m<sup>3</sup>=4.1868kJ/cm<sup>3</sup>

## 2.2 火焰淬火设备

火焰淬火设备和工具与气焊用的乙炔发生器和喷枪相同。根据淬火面积的大小和淬硬层厚度,选择或自制不同规格的发生器及喷枪。火焰喷嘴与气焊喷嘴不同,一般分为单焰式或多焰式两大类,多焰式应用最广。火焰喷嘴的设计与制造是否合理,是火焰淬火质量的关键。

为了保证工件表面加热均匀,多焰喷嘴火焰焰心带的形状与尺寸应与工件淬火表面形状相似。所以火焰喷嘴的形状和尺寸取决于淬火加热部位的形状与尺寸。常用的几种火焰喷嘴如图 2 所示。

目前,喷嘴多采用紫铜管( $\phi 10\sim\phi 16\text{mm}$ ,厚 2~3mm)制造,也可以用紫铜块或紫铜板加工制成。多焰喷嘴的火孔直径根据淬火表面宽度和喷枪号数确定,可在  $\phi 0.4\sim 10\text{mm}$  范围选择。火孔间距一般为火孔直径的 4~6 倍,火孔与淬火喷水孔之间距离一般为 2mm。根

## 2 火焰淬火法

### 2.1 火焰淬火常用燃料特性

据需要,喷水孔可分为双排或三排,并钻成与中心线成 15°左右的锥孔。

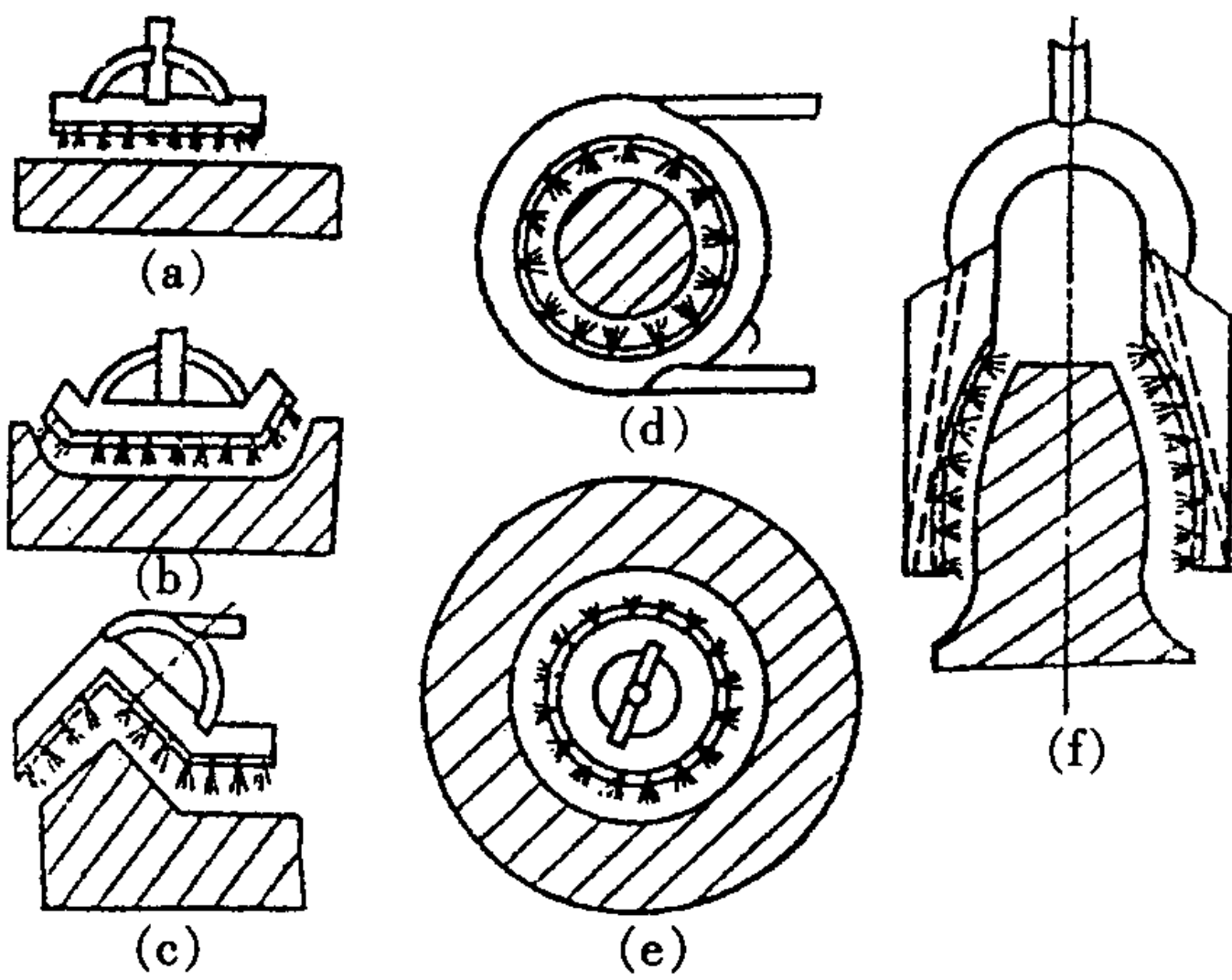


图 2 常用火焰喷嘴结构示意图

a——平面喷嘴 b——翘形喷嘴 c——三角形喷嘴  
d——圆环喷嘴 e——内孔喷嘴 f——钳形喷嘴

2.3 火焰淬火加热方法

火焰淬火加热方法主要有图 3 所示的几种,可根据工件形状和表面淬火要求而定。

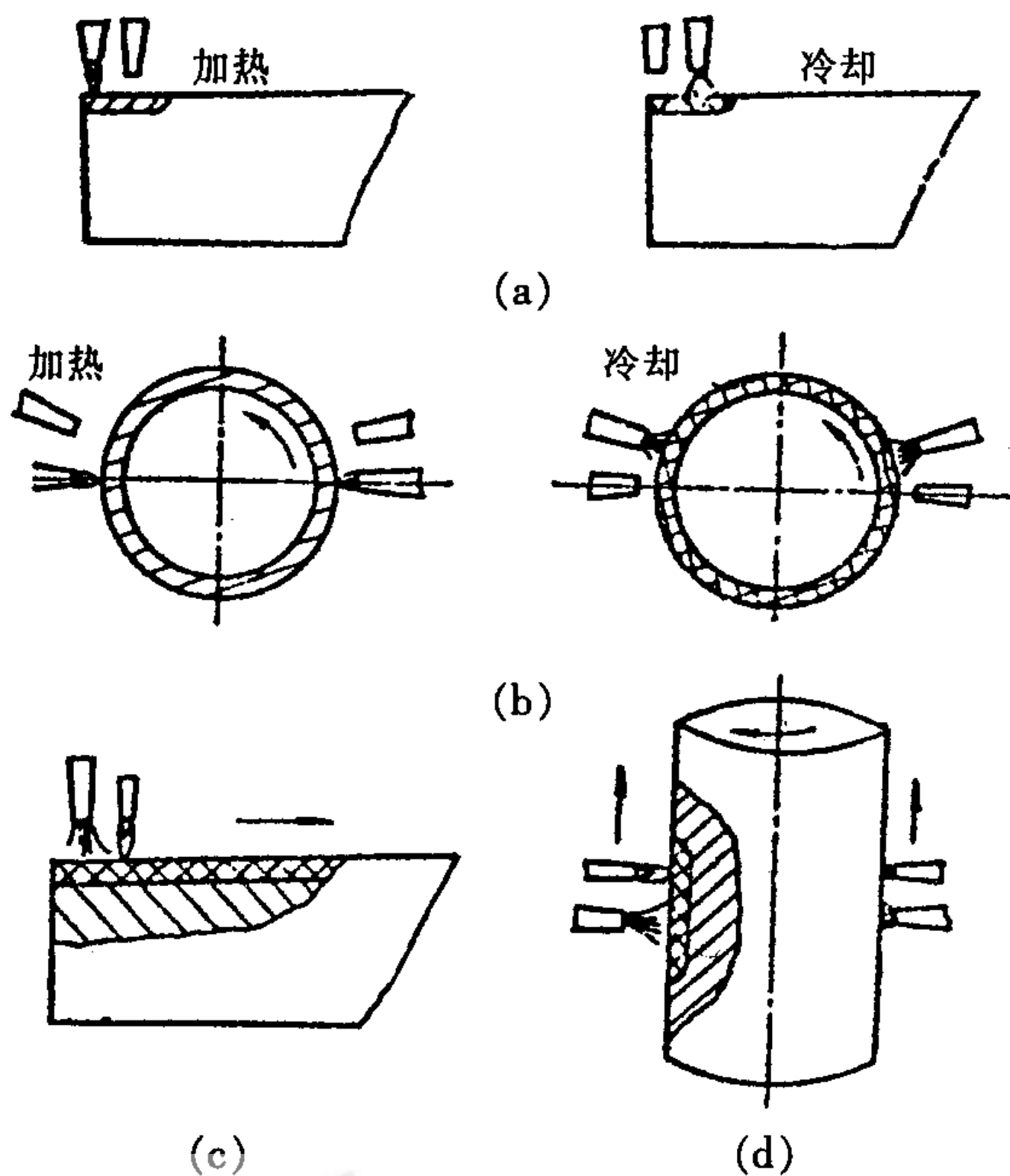


图 3 火焰表面淬火加热方法示意图

a——固定法 b——旋转法 c——连续推进法 d——联合法

(1)固定法。

工件与喷嘴均保持不动,先进行加热,达到淬火温度后,关闭气体(燃料),立即冷却。此法多用于局部淬

火。

(2)旋转法。

利用一、两个不移动的火焰喷嘴,将以一定速度旋转(一般转速为 75~150 转/min)的工件表面加热,达到淬火温度后,关闭气门,喷水(或其他冷却剂)冷却。此法多用于回转体工件(如小型曲轴颈和模数小于 4 的齿轮等)的表面淬火。

(3)连续推进法。

工件和喷嘴以一定速度相对运动,一面加热,一面冷却,此法用于长形平面或曲面工件的表面淬火。

当采用连续淬火法时,喷嘴中火孔间的距离是否合适,将直接影响淬火质量。距离太大,可能使淬硬层过深或淬不上火;反之,则淬火温度高,变形大,容易使火焰熄灭或产生回击现象。根据不同钢号淬透性的差异,可将喷火孔和水冷孔距离调节在 10~25mm 之间。为了使水花不溅在焰心处,应使喷出的水柱后倾 10°~30°,火孔与水孔间还应设置挡水板。

冷却剂根据材料、技术要求和淬火方式,可选用水、聚乙烯醇水溶液等。

(4)联合法(或称混合法)。

以一个或两个喷嘴,相对工件的中心线作平行直线运动,工件则绕轴线以一定的速度(75~150 转/min)旋转,连续加热,随后冷却。此法主要用于长轴类工件的表面淬火。

2.4 火焰淬火的加热温度与气体流量

(1)加热温度。

由于火焰淬火的加热速度很高,奥氏体晶粒在短时间内不易长大而粗化,所以淬火温度较普通淬火要高得多。表 2 列举了一些钢材的火焰淬火加热温度。

表 2 各种钢材的火焰淬火加热温度

材料牌号	加热温度(℃)
35、ZG270~500、40	900~1020
45、ZG310~570、50、ZG340~570	880~1000
50Mn、65Mn	860~980
40Cr、35CrMo	900~1020
42CrMo、40CrMnMo、35CrMnSi	900~1020
T8A T10A	860~980
9CrSi、GCr15、9Cr	900~1020
2Cr13、3Cr13、4Cr13	1100~1200
灰口铸铁、球墨铸铁	900~1000

要获得较浅的淬硬层,可采用较快的淬火速度,加热温度取上限,反之,取下限。

(2)气体流量。

火焰淬火的硬度和硬化深度取决于气体流量和加热时间。另外,作为燃料气体的性质,要求发热量大,火焰温度高,且燃烧速度快,常用氧炔焰。

为了加深硬化层,减少气体流量,应增长加热时间,为了得到良好硬化层的气体流量,在用氧炔焰时,以 1~2L/cm<sup>2</sup> 为宜。

当使用圆孔喷嘴时,单个喷嘴的气体喷出量(W)

可用下式确定:  $W=0.3418DK\sqrt{H/\rho}$  (m<sup>3</sup>/h)

式中 D——喷嘴直径,mm

K——喷嘴系数

(直径为  $\phi 1.0\sim 5.0\text{mm}$  时,  $K=0.72\sim 0.83$ )

$\rho$ ——气体比重(空气的  $\rho=1$ )

H——气体压力

采用氧炔焰进行火焰淬火时的加热条件(见表 3)。

表 3 加热条件

硬化层 (mm)	加热速度* (mm/min)	氧气量 (cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> )	乙炔 (cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> )
8	50	3600	3300
6	75	2350	2200
5	100	1760	1650
3	125	1400	1300
1.5	150	1180	1060

\*这里的加热速度应是指单位时间(min)沿喷嘴移动方向移动的距离

2.5 氧炔火焰的性质

(1)火焰的种类。

淬火用火焰通常采用的燃气是乙炔。乙炔在同时喷出的氧气中燃烧形成氧炔火焰。它的外形构造以及火焰的温度分布是由氧气体积与乙炔体积的混合比( $\beta_0$ )确定的,根据混合比值的大小,可得到以下性质不同的 3 种火焰:

①中性焰:  $1.1 \leq \beta_0 \leq 1.2$  时,得到中性焰,这种中性焰燃烧后的气体,既无过剩的氧,也无过剩的乙炔,其火焰外形如图 4b,中性焰由焰心、内焰和外焰三部分组成,焰心是光亮的蓝白色锥形。焰心外面内焰,颜色较暗,呈淡橘红色。长度一般是从焰心伸展出 10~20mm 左右。内焰距焰心 2~4mm 处的温度最高约为 3150℃,内焰外面呈淡蓝色的是外焰,温度约为 1200~2500℃。

②碳化焰:当  $\beta_0 < 1.1$  (一般为 0.8~0.95) 时,得到碳

化焰,其燃烧后的残气中,尚有部分过剩的乙炔未曾燃烧。碳化焰不能用于淬火。

③氧化焰:当  $\beta_0 > 1.2$  (一般为 1.3~1.7) 时,得到氧化焰,氧化焰燃烧后的气体中残留部分过剩的氧(见图 4a)。

氧化焰焰心呈淡紫蓝色,轮廓也不太明显,内外焰均呈蓝紫色。燃烧时带有噪声,内焰距焰心处温度最高,可达 3100~3500℃。

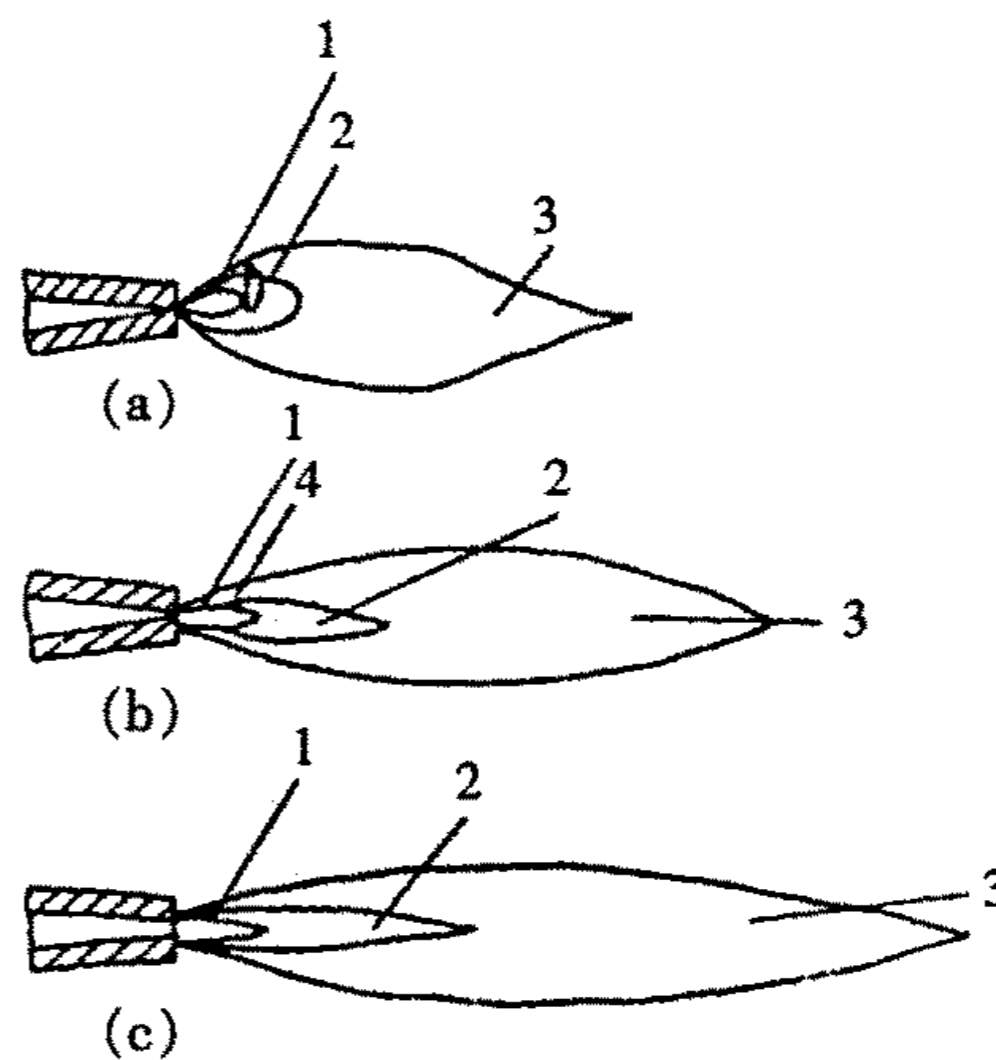


图 4 氧炔火焰的种类与外形

a——氧化焰 b——中性焰 c——碳化焰  
1.焰心 2.内焰 3.外焰 4.炭粒层

(2)火焰的温度分布。

火焰温度是确定淬火加热热源的主要因素,火焰各部位温度是不同的,以中性焰为例讨论火焰中温度的分布情况。图 5 是以火焰距喷嘴的距离为横座标,温度值为纵座标的火焰温度分布曲线。

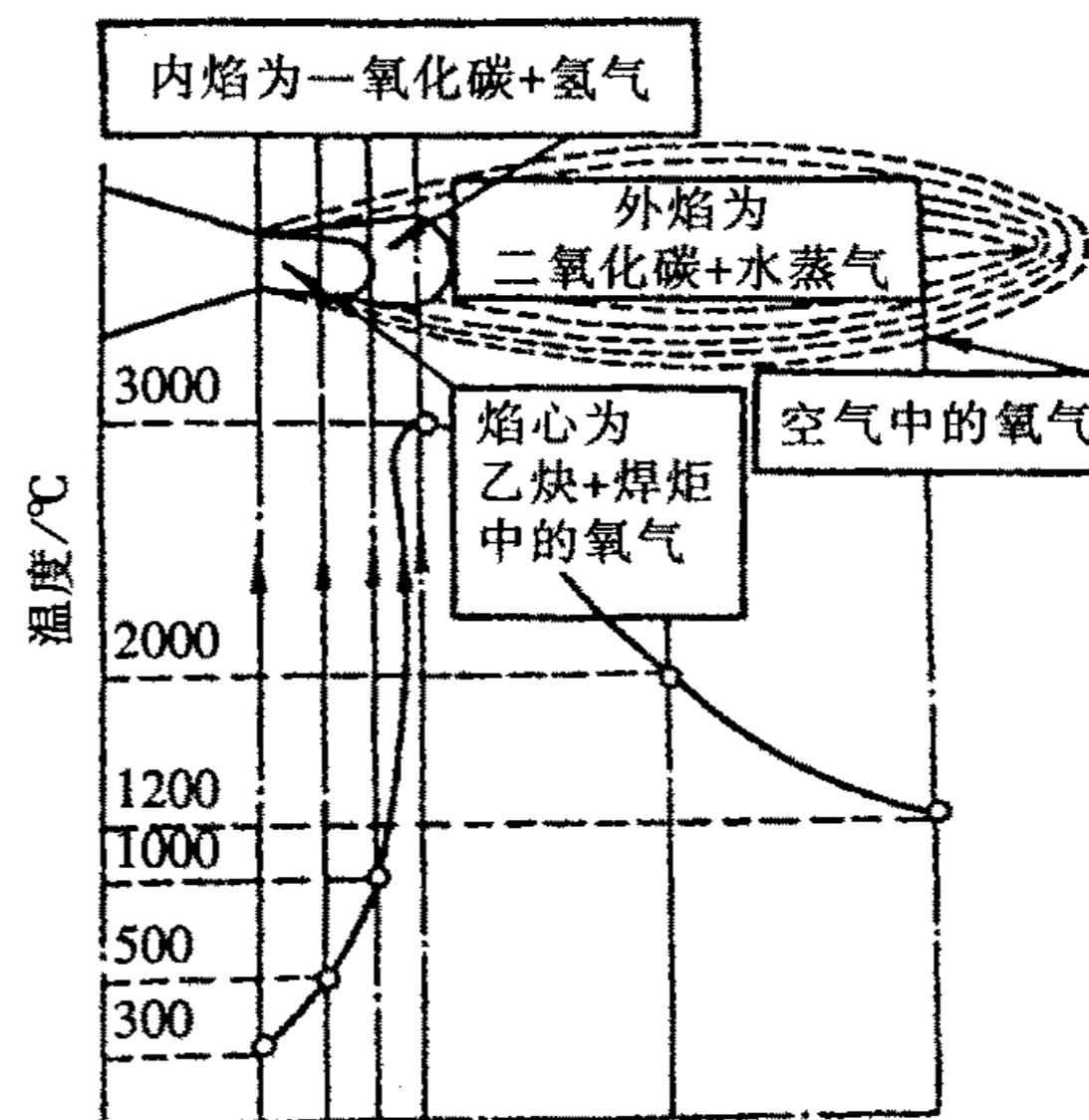


图 5 中性焰温度分布曲线

### (3) 火焰淬火时最佳气体混合比的选择。

火焰的温度随混合气体的成分而定, 氧炔焰的温度与其混合比的关系如图 6 所示, 混合比例  $\beta_0$  值处于不同数值时, 火焰温度的稳定性是不同的, 见表 4。

混合气体比为 1.1 时, 若波动量为  $\pm 0.05$ , 则火焰温度将波动  $\pm 3.3\%$ , 当  $\beta_0$  为 1.5 时, 其火焰温度稳定在  $3400\sim 3410^\circ\text{C}$  范围内, 波动值只有  $10^\circ\text{C}$ , 这一点对表面淬火质量是很有益的,  $\beta_0=1.5$  时, 火焰是氧化焰, 氧化焰较中性焰有两个优点:

①比较经济。当减少乙炔消耗量 (体积分数 20% 时, 温度依然很高。氧气比乙炔廉价)。

②由于表面过热而产生废品的危险性小。因为火焰温度达最高时, 由于气体成分变化, 将使火焰温度降低。

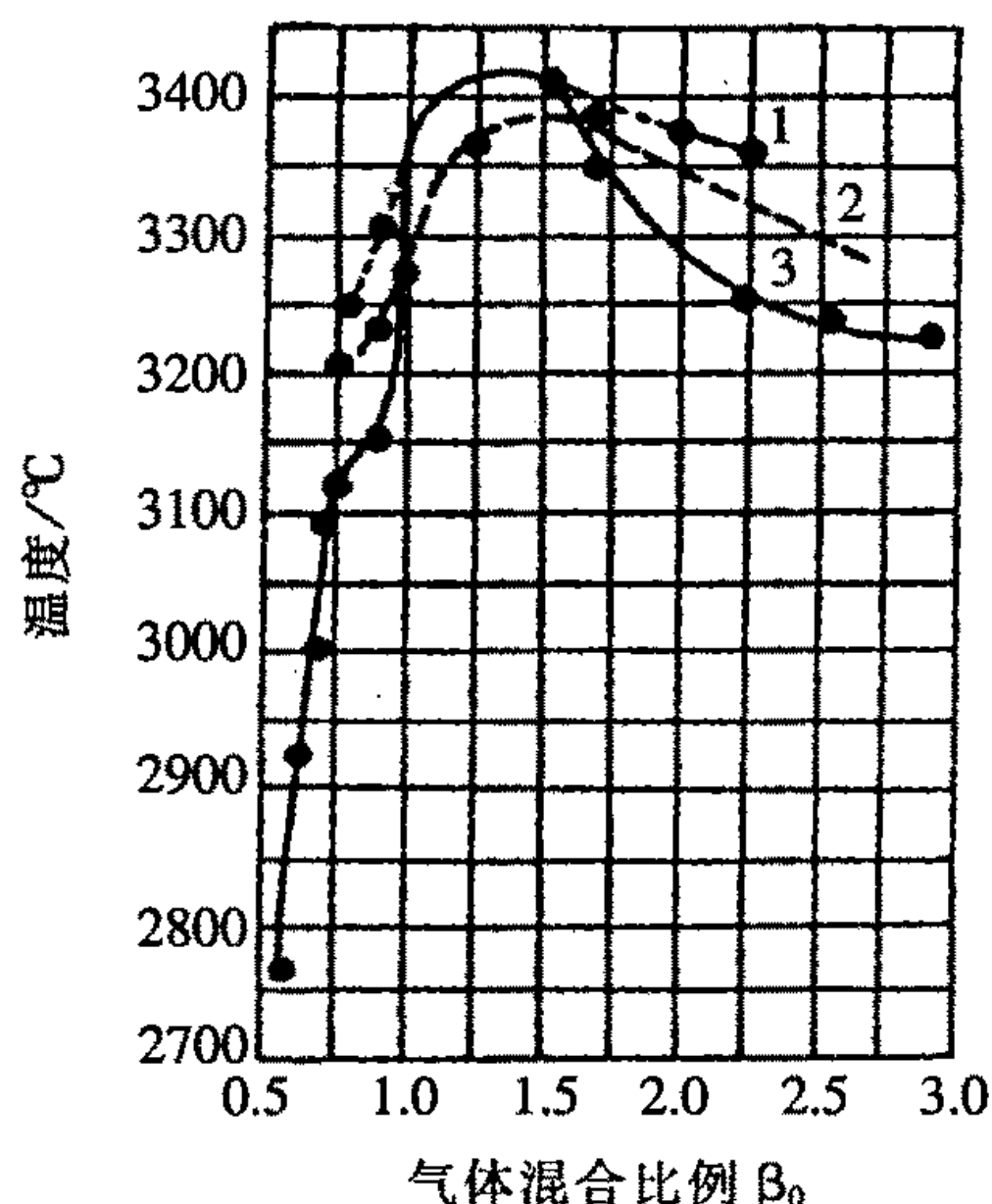


图 6 氧炔火焰温度与混合比的关系

1. 经验曲线(哥宁哥和琴哥拉特) 2. 理论曲线(蒙达)

3. 理论曲线(庐勒和舍勒曼)

表 4 气体混合比与火焰温度稳定性的关系

气体混合比 $\beta_0$	波动 $\pm 0.05$ 时 $\beta_0$ 值	温度波动值	温度波动百分比
1.1	1.05~1.5	$200^\circ\text{C}$ 即 $3175\sim 3375^\circ\text{C}$	$\pm 3.3\%$
1.5	1.45~1.55	$10^\circ\text{C}$ 即 $3400\sim 3410^\circ\text{C}$	$\pm 0.16\%$

经验指出, 无论采用中性焰还是氧化焰对工件施淬, 工件表面均无氧化皮, 亦无脱碳层, 甚至连云朵状花纹都不存在。

综上所述, 火焰淬火时, 宜选用混合比为 1.5 的氧化焰, 也可选用中性焰。

## 2.6 火焰淬火的优缺点

火焰淬火与普通淬火相比具有下列优点:

(1) 无论工件大小及形状如何, 均可施淬。

(2) 尤其适合局部淬火。

(3) 设备费用低, 能源消耗低。

(4) 无需专门(固定)的生产场地, 可随时随地现场作业。

其缺点是:

(1) 测量温度(主要靠火色法估计)困难。

(2) 火焰调节困难。

由此可见, 与普通淬火法相比, 火焰淬火法要求操作工具有较高的技术水平。

## 3 火焰淬火模具钢

火焰淬火工艺在一般机械制造中已得到广泛应用, 不仅用于单件或小批量生产, 而且品种齐全的淬火装置已用于大量零部件生产。

### 3.1 火焰淬火模具钢应具有的特点

在模具制造中, 模具工作零件材料的选择和热处理工艺的确定是关系到模具寿命的重要技术问题, 而在过去的研究中, 能够适用于火焰淬火的模具钢并不多。因为模具的服役条件要求能够进行火焰淬火的材料必须具有以下特点。

(1) 允许的淬火温度(奥氏体化温度)范围较宽, 甚至于在  $100\sim 250^\circ\text{C}$  的变化区间内淬火, 均可得到满意的效果。

(2) 淬火工艺性好(淬透性、淬硬性、微变形等)。

(3) 具有良好的强度、韧性和耐磨性。

(4) 具有良好的焊补性能, 并能进行堆焊修复, 以及较好的机械加工性能等。

完全能满足上述条件的模具钢是很少的。

以前制造模具刃口零件的材料, 主要是碳素工具钢和低合金工具钢(T10A、9Mn2V、CrWMn 等), 由于其淬透性较差, 火焰表面淬火必须采用一定的冷却介质方能淬硬, 且易出现硬度不均, 显微裂纹及尺寸变形大等缺陷。高合金工具钢 Cr12 及高速工具钢, 淬透性虽高, 可空冷硬化, 但由于合金度高, 淬火温度高, 不仅难以控制, 且易造成硬度不均匀, 易出现显微裂纹。故均不宜作火焰淬火。

(未完待续)