

[苏联] A. E. 列别哈 著

鋼的火焰表面淬火

科学技術出版社

鋼的火焰表面淬火

[苏联] A. E. 列别哈著

黃振華 高連玉合譯

科學技術出版社

內 容 提 要

本書敘述鋼材火焰表面淬火用的可燃氣體及液體的性能，
氣焰吹管及多焰式噴頭的結構及其設計數據等，並介紹各種零
件火焰表面淬火的合理工藝過程及淬火機床的結構。

本書供機械製造廠及機械修配廠熱處理工作人員參考。

鋼 的 火 焰 表 面 淬 火

ПЛАМЕННАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА СТАЛИ

原 著 者 [蘇聯] А. Е. Лепеха

原出版者 Машигиз · 1955年版

譯 者 黃 振 華 高 連 玉

*

科 學 技 術 出 版 社 出 版

(上海建國西路336弄1號)

上海市書刊出版業營業許可証出079號

中 科 藝 文 聯 合 印 刷 新 華 書 店 上 海 發 行 所 總 經 售

*

統 一 書 號: 15119·528

開本 787×1092 耗 1/32 · 印張 2.5 S · 字數 56,000

1957年7月第1版

1957年7月第1次印刷 印數 1—3,500

定價: (10) 0.38 元

目 錄

I. 表面热处理的方法.....	1
II. 气体氧火焰的性質.....	5
III. 生产可燃气体的設備.....	18
IV. 火焰淬火用的吹管及噴头.....	31
V. 火焰表面淬火工艺.....	57

I 表面热处理的方法

表面热处理的方法繁多，而它們之間的區別則在于加热和冷却方式或被处理表层溫度分布的不同。

現有的表面热处理，按其加热方式可分为两类：一类的热源在外部，另一类的热源在内部。

用气焰作鋼材的化学热处理和表面加热法属于第一类；用电能加热的一切方法都属于第二类。必須承認，其中最合理的主要加热法應該是利用高周波感应电流实行的表面淬火。

至于金属的其他电热法，对于淬火也有很大的价值。例如盖維林格教授提出的接触加热法、水下感应加热法及其他方法等等。

在上述各种方法当中，最适于在各种条件下都能采用的方法，特別是在單件和小批生产中都能适用的方法，應該算是用气体火焰作金属表面加热的方法。这种方法，就是所謂鋼材的火焰表面淬火(ППЗС)。

1. 火焰表面淬火

火焰表面淬火方法的實質可归納如下：

被淬火零件的表面用氧气焰以專用吹管燒到淬火溫度，其厚度达 1~6 公厘，然后立即用空气或水加以冷却。

所有淬火用吹管都設計成多焰式，并且在离火焰 10~20 公

厘处裝有淋雨器(噴水器)。

表面淬火是一种局部淬火，因为需要淬火的只是零件上的各別部分。例如：曲拐軸的軸頸、齒輪的牙齒、起重机滾輪的跑道等等。

这种方法具有如下的优点：

- 1——淬火工序簡便；
- 2——能够在零件的某一段上获得需要的硬度和淬火层深度；
- 3——零件所发生的扭曲变形量最小，并且在淬火后表面不被氧化；
- 4——能够获得均匀的淬火表层，而且零件的組織变化是逐漸的，从而淬火层的縱深方向上的硬度改变也是逐漸的。

这种方法的唯一缺点就是难于控制适于淬火的加热温度；但是根据本書第16頁所述，淬火温度可以大大提高，而不致使鋼材过热。

火焰表面淬火的过程与一般淬火的不同处，就在于它能够用改变加热温度的方法来調节零件断面的淬火深度；此外，在火焰淬火的时候，只有极少一段要同时加热到淬火温度，并且这一段的加热时间也很短促（1~5秒鐘）。因此，热度只扩散到不甚深的一层（1~10公厘）。这一加热表层在噴水或受其他液体冷却之后，便能获得很高的硬度。

不应当把机械化的火焰淬火过程同过去的用焊接噴头作淬火的手工方法混为一談。

机械化的火焰淬火法与手工方式的淬火方法不同，用手工淬火法时，淬火的質量完全决定于工人的技术熟練程度，而机械

化的火焰淬火法則能保證淬火質量高而且淬火均勻。

在單件和小批生产当中要使零件获得局部加硬，火焰表面淬火法是最有效的也是最合适的方法。

2. 火焰淬火方法

根据淬火表面的形狀、大小以及对表面淬火的要求，火焰表面淬火可分为两种过程：循环淬火过程和連續順次淬火过程。每种淬火过程中又可用几种不同的淬火方法求得实现。例如：在循环淬火过程中最主要的方法是固定(点)淬火法和旋轉循环法；而連續順次淬火过程中最主要的方法是平面前进法、旋轉前进法、螺旋前进法和漸进法。

下面把上述的几种方法扼要的說明一下：

固定法 被淬火零件不动，用固定的吹管把它加热到需要的淬火溫度，然后噴水冷却。这种方法适于在小表面的淬火中采用。例如：凸爪、車床頂尖、鋼軌接头、凿子、絲錐和鉗头等零件的淬火。

旋轉循环法 淬火零件迅速旋轉(100~200 轉/分)，用固定的吹管把零件表面加热到淬火溫度，加热之后关闭或移开吹管，进行零件的冷却。用这种方法时，表面的受热寬度决定于噴头的寬度。

这种方法可用来作曲軸軸頸、小直徑的滾輪、軸台、板牙，以及直徑与模数都很小的齒輪等零件的淬火。用这种方法淬火的时候，被淬火表层的各个点上都有均勻的硬度和淬火深度。

平面前进法 被淬火零件对火焰或火焰对被淬火零件以60~300 公厘/分的速度作直綫运动。在距火焰 10~20 公厘处設

有冷水噴射器，隨着火焰移動，以冷卻緊靠吹管的加熱區域。

用這種方法，可作淬火表面尺寸不限的平面型零件。例如：寬度在 2 公尺以上的鋼板。這種零件可同時用幾個吹管一次淬火，吹管的噴頭寬度等於 $2 \sim 2.5$ 公尺。

旋轉前進法 被淬火零件緩緩旋轉，其外表面靠近固定的吹管移動，吹管的火焰便把淬火表面加熱。冷卻液噴射器裝在離火焰 $10 \sim 20$ 公厘處。這種方法也叫一次旋轉淬火法，它的缺點在於，在被淬火表面的末端留下很小一段（ $6 \sim 10$ 公厘）硬度較低的地帶。

用這種方法可以完成直徑較大而需要淬火的表面又不甚寬的零件。例如起重機上的行輪、滾輪、輪箍、直徑大的圓滾、圓環和墊圈等零件的淬火。

螺旋前進法 被淬火零件緩緩旋轉，吹管对被淬火零件的中心綫作平行直綫運動。採用這種方法時，淬火工作是按螺旋綫進行的。冷卻液噴射器裝在距火焰 $10 \sim 20$ 公厘的地方。這種淬火方法的缺點是在螺旋淬火區的焰流邊緣上有硬度較低的地帶。

漸進法 吹管对被淬火零件的中心綫作平行直綫運動，而被淬火零件則繞自己的中心綫迅速旋轉。

在這種情況下採用環式噴頭的吹管（環式吹管）。帶冷卻液噴孔的環形冷卻器固定在環式吹管上。由火焰到冷卻液噴孔中心的距離等於 $10 \sim 20$ 公厘。用這種方法淬火時，零件表面要旋轉幾次才能加熱，淬火層的硬度和深度都很均勻。

用這種方法可以作冷軋軋輥表面、汽缸內外表面和軸等零件的淬火。

固定法、旋轉循环法与平面前进法、旋轉前进法与渐进法之間有原則上的区别。在用前述两种方法淬火时，首先要把需要淬火的全部表面都加热到必需温度，然后再进行冷却（循环淬火过程）；而用其余三种方法时，被淬火表面的加热和冷却都是逐段顺序进行的（連續順次淬火过程）。

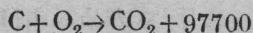
固定法、旋轉循环法和渐进法有許多优点：用这几种淬火方法时，被淬火表层或被淬火部分的整个面上都有均匀的硬度和同一的深度；此外，还能用光学高温計控制表面的加热温度。

能够控制住淬火层的加热温度，就保证了调节加热程度的可能。所以，在为不同零件选择火焰表面淬火法的时候，必須首先考虑到是否可以采用固定法、旋轉循环法或渐进法。

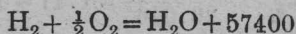
II 气体氧气焰的性质

1. 燃燒过程

为了加热零件表面，在火焰淬火中，应用加热火焰。这种加热火焰是各种可燃气体和可燃液体的蒸汽在氧气中燃燒而形成的，燃燒时产生大量的热，就能加热零件表面。例如在一分子的碳燃燒时：



放出近 97700 卡/克·分子的热量，而在一分子的氢气燃燒时：



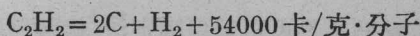
放出有 57400 卡/克·分子的热量。

可燃气体的燃燒是在一种專用吹管内进行的。在燃燒之

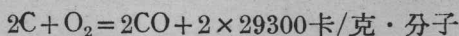
先,吹管內就形成一种易燃混合物(可燃气体与氧气的混合气体)。当这种液体从噴头(噴咀式噴头)中噴出时便进行燃燒。燃燒中所形成的火焰由三个区域組成:焰心、还原区及全燃区(图1)。

在易燃混合物形成的时候,送入吹管內的并非完全燃燒所必需的全部氧气,而只是足以使可燃气体不致完全燃燒和分子分裂所必需的部分氧气(第一燃燒阶段)。完全燃燒所必需的其余数量的氧气,是来自外界空气(第二燃燒阶段)。

第一燃燒阶段中,乙炔气按下列方程式分解:



下述反应表明,乙炔在分解之后,碳不完全燃燒,而变成具有热效应的一氧化碳:



燃燒反应的总热量为:

$$2 \times 29300 + 54000 = 112600 \text{ 卡/克} \cdot \text{分子}$$

如果計算 1 立方公尺气体在燃燒时所发生的卡路里量(第一阶段)并考虑到乙炔的分子重量为 26.016,比重为 1.17 公斤/立方公尺,則 1 立方公尺的热量为:

$$\frac{112600}{26.016} \times 1.17 = 5050 \text{ 大卡/立方公尺}$$

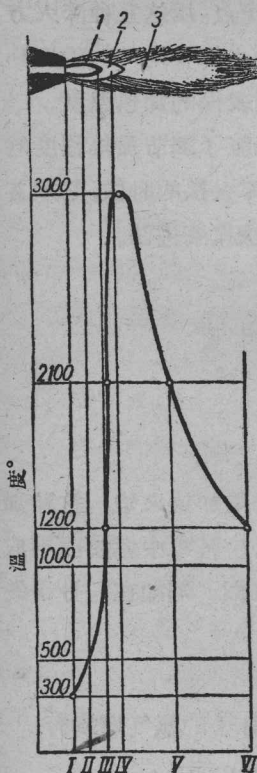


图 1 火焰各个区域的温度分布图 1—焰心 2—还原区 3—全燃区

即乙炔第一燃燒阶段的热量等于 5050 大卡/立方公尺。

从对燃烧反应的考察中可以看出,在第一燃烧阶段中某些气体因分子分离(分子的热分解)的反应而放出补充热,而某些气体则因分子的分离而吸收热。

所以,吹管内的各种可燃气体不可能依靠输入吹管的氧气获得完全燃烧,因为第一和第二阶段都在进行燃烧。除此之外,某些燃料燃烧时,第一阶段中热量减少,其减少量等于花费在燃料分子分离上的热量。

因此,在比较用作表面加热的各种燃料时,必须从它在燃烧反应的第一阶段中所得到的热量出发。第一燃烧阶段的热具有特别重大的意义,并且对该种燃料在氧气中的燃烧温度有很大影响。

表1中表示:第一燃烧阶段中的热量、金属表面加热用某些燃料完全燃烧时的热值,以及在氧气中燃烧的温度等数据。

从表1的数据中可以看出,在第一燃烧阶段中乙炔的最高热量为5050大卡/立方公尺。因此,乙炔在氧气中燃烧时最高温度达 3100°C 。

但是必须指出,作火焰表面淬火时,乙炔未必就是最好的气体,因为当燃烧温度高时,即等于 3100°C ,被淬火零件只在很短的一刹那間(只几秒钟)被加热,这段时间内为淬火而准备的表层也就很薄。结果,当淬火层的厚度很小的时候,从淬火层到内心的组织变化便不均匀,而当淬火深度增加时,便会发生金属外部表面遭到不良的受热,从而使淬火质量恶化。

2. 火焰的形状

用气体火焰加热被淬火零件时,火焰的形状决定于被淬火

金属火焰加工中应用

燃料名称	热 值 (大卡/ 公尺 ³)	第一燃 烧阶段 中的热 量(大卡 /公尺 ³)	在氧气 中的燃 烧温度 (度)	可 燃 气 体 的 化 学 成 分	燃 烧 反 应 及燃烧物成分
乙 炔	13500	5050	3130	C_2H_2	$C_2H_2 = CO + H_2 + 106000 \text{ 卡/克分子}$
氢	2570	1300	2100	H_2	$2H_2 + O_2 = 2H_2O + 58000 \text{ 卡/克分子}$
照明煤气	3800	900	1900	$H_2 = 52\%; CH_4 = 23\%; CO = 14\%; CO_2 = 3\%$ 等	—
焦 煤 气	4500	1000	2200	$H_2 = 57\%; CH_4 = 24\%; CO = 10\%; C_2H_2 = 2\%$	—
甲 烷	8500	810	1800	$CH_4 = 97\%$	$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O + 191000 \text{ 卡/克分子}$
藍 煤 气	12000	—	2300	$CH_4 = 50\%; H_2 = 13\%; CnHm = 40 \sim 37\%$	—
汽 油	30000	1200	2400	C_6H_{14}	—
苯	9600	1400	2500	C_6H_6	$C_6H_6 + 7.5O_2 = 6CO_2 + 3H_2O + 187 \text{ 卡/克分子}$
石油气(热解气)	11000	—	2400	$H_2 = 12\%; CnH_{2n} + 2 = 50\%; CnHn = 28\%$	—
丙 烷	22400	1150	2000	C_3H_8	$C_3H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O$
丁 烷	28800	1100	2000	C_4H_{10}	$C_4H_{10} + 6.5O_2 = 4CO_2 + 5H_2O$
天 然 气	8000	5500	2000	$C_3H = 4\%; CH_4 = 94\%$	$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O + 191000 \text{ 卡/克分子}$
水 煤 气	3000	—	2160	$CO = 50\%; H_2 = 50\%$	$CO + H_2 + O_2 = CO_2 + H_2O$

的可燃气体的特性

表 1

氧气需要量 (公尺 ³ /公尺 ³)		同空气混合时爆炸 极限 (占 混合气百 分比)	对熔点为 1350°的 钢材的高 热效应	代用品 消耗量 同乙炔 消耗量 的比	火焰扩散速度 (公尺/秒)		气体分 子重 (克)	比重 (公斤/ 公尺 ³)
全 燃	第 一 燃烧阶段				在氧 气中	在空 气中		
2.5	1.5	2.2~81	0.570	1	13.5	2.9	26.0	1.17
0.5	0.25	3.3~81.5	0.355	4.5	8.9	2.7	2.0	0.09
1.1~1.2	0.6~0.7	9.8~24.8	0.290	0.75	1.0	—	16.0	0.4
1.03	0.7~0.8	5.6~30.8	0.325	3.2	—	—	11.2	0.4
2.0	1.5	4.8~16.0	0.206	1.6	3.3	0.7	16.0	0.715
3.5	0.8	4~8	0.415	1.8	—	—	26.9	1.20
1.3~1.7	1.3~1.7	1.4~5.5	0.437	0.6~0.7	—	—	16.1	0.72
3.3	1.2	2.6~6.7	0.483	1.7	—	—	19.8	0.878
3.5	0.66	—	0.39	1.2	—	1.15	19.8	0.878
5.0	3.5	2.1~9.5	0.325	0.7~0.8	3.7	0.8	44.09	4.86
6.5	4.0	1.5~8.4	0.355	0.6~0.7	—	0.8	58.18	2.70
2.0	1.5	4.8~14.0	0.250	2.0	—	—	19.0	0.85
1.3	—	12.3~66.9	0.291	2.3	—	—	16.08	—

表面的形狀,而且需要淬火表面的全部寬度,應尽可能在一次過火之中被火焰包容。

由此可見,火焰的寬度必須適合於被淬火部位的寬度,亦即必須適合於要求產生高硬度地帶的寬度,而火焰的形狀則應適合於零件表面的形狀。

淬火表面的形狀有各種各樣的,但是取其共同點可以分成四、五種基本的形狀。

除外部形狀之外,火焰的幾何尺寸也有很大意義,特別重要的是火焰的深度(就吹管的運動行程而言)。因為加熱的速度、淬火深度,以及從淬火區域到原始區域的組織變化均勻程度都與

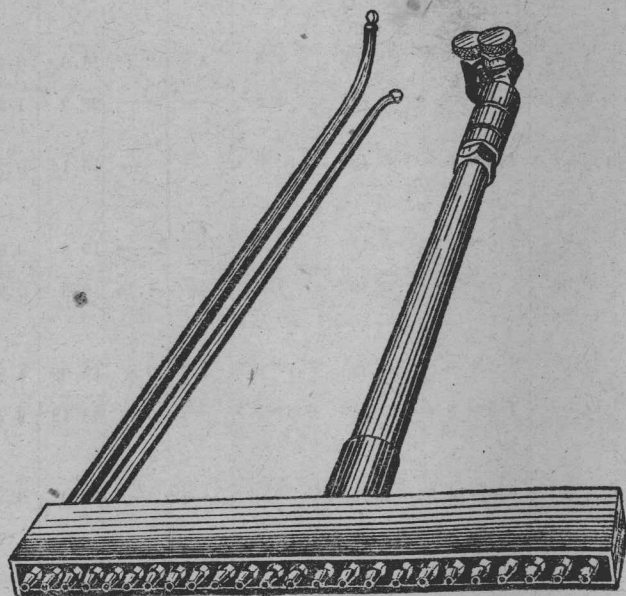


圖 2 淬火用平面火焰多噴嘴式吹管

火焰深度有关。火焰的几何尺寸决定于吹管的构造。普通标准吹管的圆柱形火焰尺寸是按圆柱体的直径和高度计算的（图 1 所示还原区）。采用火焰表面淬火法的时候，大多数零件要用特殊构造的吹管。例如：

1. 綫形火焰吹管。这种吹管的綫形火焰是用縫式噴头和單列噴嘴式噴头形成的。綫形火焰只有一种度量——寬度。

2. 平面形火焰吹管。这种吹管的平面形火焰是由多噴嘴式噴头形成的（图 2）。平面形火焰有两种度量：深度（不超过 3 公厘）和寬度。

3. 方形火焰吹管。这种吹管的方形火焰是用多列噴嘴式噴头形成的，并由很多火舌組成。構成这种火焰的原因是因为在噴嘴上有許多排成几列并且相互之間保持着一定距离的噴焰孔。噴焰孔的直径不超过 1 公厘。

方形火焰也有两种度量：深度和寬度。根据噴焰孔的列数，深度可以达到 12 公厘。綫形火焰、平面形火焰和方形火焰的寬度都可以达到 1 公尺。

从热量的利用率（火焰效率）这一观点来看，方形火焰是最有效的，因为它的輻射損失少而傳热系数高。除此之外，方形火焰在某种程度上还可以調节加热速度，而更主要的，是使加热过程緩慢进行，不致使零件的外层过热和使淬火深度增大。

3. 火焰的功率

火焰的功率和溫度如有变化，对于淬火質量（加热均匀程度）有不良的影响。因此，不管进入吹管內的氧气或气体的压力和数量如何变化，要使火焰溫度在淬火过程中保持不变。

如果氧气和气体混合比是固定的，火焰應該具有什么样的性質，这是已經确定了的。

对于乙炔氧气焰來說，这个比值等于 1.5，即

$$\frac{K}{\Gamma} = 1.5$$

但是，考虑在淬火过程中，当噴头受热时乙炔进入吹管的数量会减少，所以这个比应在 1.3~1.4 之間选取。因此，在用火焰淬火的一切場合下，必須按下述比值，以充沛的氧气来調节火焰：

1) 乙炔焰 $\frac{K}{\Gamma_a} = 1.3 \sim 1.4$;

2) 照明煤气 $\frac{K}{\Gamma_c} = 0.6 \sim 0.7$;

3) 焦煤气 $\frac{K}{\Gamma_\kappa} = 0.5 \sim 0.6$;

4) 氫气 $\frac{K}{\Gamma_e} = 0.25$ 。

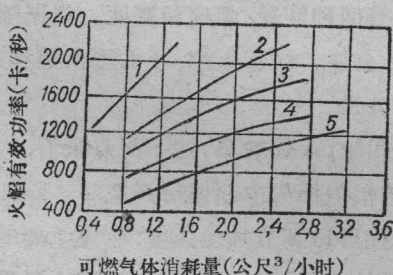


图 3 火焰有效功率与可燃气体消耗量的关系曲綫

1—丙烷-丁烷 ($\frac{K}{\Gamma_n} = 3.5$) 2—乙炔 ($\frac{K}{\Gamma_a} = 1.15$)

3—甲烷 ($\frac{K}{\Gamma_{an}} = 1.5$) 4—焦煤气 ($\frac{K}{\Gamma_\kappa} = 0.8$)

5—氫气 ($\frac{K}{\Gamma_e} = 0.4$)

为了能較完全地把可燃气体的特性表征出来，有时需要利

用火焰的單位功率和有效功率这两項数值。

火焰的有效功率是按在單位時間內进入被加热金属中的热量(大卡)計算的。

火焰的有效功率主要取决于氧气和气体的混合比和可燃气体在單位小时內的消耗量(立方公尺/小时)。图 3 所示即火焰有效功率与可燃气体消耗量的变化关系。

可燃气体(图4)都有它最适宜的混合比,在这种比值关系中火焰能发挥最大有效功率。

火焰的單位功率 g 就是單位面积所放射出的热量,即

$$g = \frac{vQ_H}{R} \text{ 卡/公分}^2\text{秒}$$

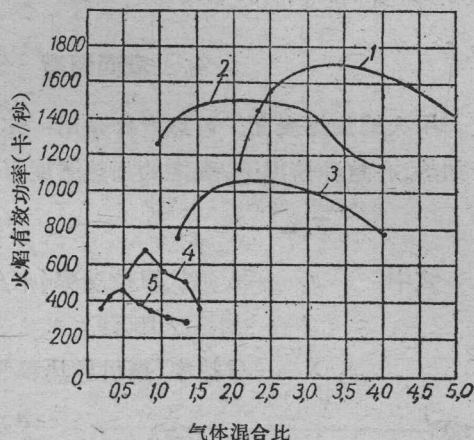


图 4 火焰有效功率与气体氧气焰成分的变化关系曲线

1—石油气 2—乙炔 3—甲烷 4—焦煤气 5—氩气

式中 v ——燃烧速度(公分/秒);

Q_H ——气体的低热值(卡/公分³);

R ——噴口断面面积对燃烧区域断面的比(一般 $R=0.5$);

$$g = 2vQ_H \text{ 卡/公分}^2\text{秒}。$$

燃烧速度取决于燃烧混合气体的成分,并且混合气体中可燃气体愈少,速度就愈高。

对于氩气来说,当 $v=850$ 公分/秒及混合气体中可燃气体