

喷液压力淬火中的喷液系统设计

杨年华 陈祖高

(湖北宜昌黑旋风锯业股份有限公司, 湖北宜昌 443003)

金刚石锯片广泛运用于大理石、花岗石、混凝土等材料的切割, 而金刚石锯片是通过在锯片基体上焊接金刚石刀头而构成。金刚石锯片基体一般均采用优质合金钢制作。为适应多种材质的切割需求, 就要求金刚石锯片基体必须具备应对多种工况条件的使用性能: 即具有足够的强度, 一定的韧性, 较高的疲劳强度及弹性极限等。也就是说, 锯片基体应具有较好的综合机械性能。

为了得到综合机械性能的金刚石锯片基体, 锯片基体生产过程中十分重要的一环是锯片基体的热处理。众所周知, 金刚石锯片基体是一个径厚比很大的黑色金属超薄片; 在热处理过程中极易产生多种形状各异的翘曲变形; 而锯片基体在使用过程中又要求具有较高的平面度, 以保证各种材料的顺利切割。因此, 减少甚至消除锯片基体在热处理过程中的变形, 提高锯片基体的综合机械性能, 是世界各国锯片生产厂商始终关注的焦点问题之一。各国锯片生产厂商、相关的科研机构均投入了巨大的人力、财力对热处理过程中的锯片基体变形问题进行研究。从目前所能见到的相关资料及报道来看, 采用自由加热、加压喷液冷却淬火是解决此类问题的有效途径。

将自由加热、加压喷液冷却淬火(下面简称为喷液压力淬火)运用于金刚石锯片基体的生产实际中, 目前主要集中于小型工件(直径 600mm 左右)或连续型工件(如带锯条)。对于中大型金刚石锯片基体(直径在 1200mm 以上)的喷液压力淬火, 由于喷液的均匀性不易解决而运用很少或者说基本上未见运

用。因此, 研究和解决喷液压力淬火工艺中的喷液均匀性问题, 即正确地设计出满足喷液压力淬火工艺要求的喷液系统, 是具有极强的现实意义的。

一、喷液量的确定

正确设计自由加热、加压喷液冷却淬火工艺中的喷液系统, 首要的问题就是需要正确确定该系统的喷液量; 因为喷液系统的构成是建立在喷液量多少的基础之上。那么, 如何确定喷液量呢? 笔者认为: 运用热量平衡原理确定其喷液量是科学合理的。

令锯片基体的重量为 G_1 , 淬火前的温度为 T_1 , 比热容为 $712 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$; 淬火后的温度为 T_2 , 比热容为 $502 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$, 则我们可得到该锯片基体在淬火过程中所释放出的热量 (W_1)

$$w_1 = G_1(712T_1 - 502T_2) \approx 0.502G_1(1.42T_1 - T_0) \quad (\text{kJ}) \quad (1)$$

这些热量均需由淬火液所吸收并带走。我们设淬火液在未进行淬火时的温度为 T_3 , 淬火后的温度为 T_4 , 而淬火液的比热容(因目前国内外的淬火液多采用机械油, 我们这里以机械油的比热容进行计算)为 $2090 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ ($0 < t < 100^\circ\text{C}$) (我们这里忽略 T_3 变到 T_4 时的比热容的微小变化), 如此我们可得到带走锯片基体热量的淬火油的重量 (G_2):

$$\begin{aligned} G_2 &= \frac{502G_1(1.42T_1 - T_2)}{2090(T_4 - T_3)} = 0.24019G_1 \frac{1.42T_1 - T_2}{T_4 - T_3} \\ &\approx 0.24G_1 \frac{1.42T_1 - T_2}{T_4 - T_3} \end{aligned} \quad (2)$$

已知淬火油的密度为 0.88, 故其体积:

$$\begin{aligned} V_{\text{油}} &= \frac{G_2}{0.88} = \frac{100}{88} \times 0.24G_1 \frac{1.42T_1 - T_2}{T_4 - T_3} \\ &\approx 0.2727G_1 \frac{1.42T_1 - T_2}{T_4 - T_3} (L) \end{aligned} \quad (3)$$

作者地址: 湖北宜昌黑旋风锯业公司技术中心 (宜昌市大连路 8 号)

邮政编码: 443003

电子信箱: 49-yang@163.com

锯片基体的淬火过程,是黑色金属材料加热后内部所发生的一系列的相变过程;具体地说是由奥氏体转变为马氏体的过程。此时产生的组织应力与热应力,使锯片基体产生变形;此过程在极短的时间内即告结束。这也正是金刚石锯片基体的热处理变形不易控制的内在原因。此过程根据所处理的工件的材质、厚度不同,所需时间也不同:工件越厚所需时间越多。这也就是人们常说的锯片基体是否淬透的问题。设金刚石锯片基体由奥氏体转变为马氏体时所需的时间为 t ,于是我们得到锯片基体在喷液压力淬火过程中所需的喷液量(Q):

$$Q=0.2727 \frac{G_1}{t} \left(\frac{1.42T_1-T_2}{T_4-T_3} \right) (L/s) \quad (4)$$

(4) 式中 G_1 、 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 均比较容易确定,而 t 比较难以确定。它与工件的材质、厚度均有关联。各个生产厂家必须根据自身实际,即金刚石锯片基体的材质如何,厚度多少,所需的硬度高低,经过理论计算与实际验证来确定科学、合理的 t 值。根据笔者所在公司的实际,经过理论计算与生产实际的验证,笔者所在公司生产的金刚石锯片基体在由奥氏体转变为马氏体时所耗用的时间大约在15~49S之间。

还需要指出的是,根据理论计算与生产实际验证而确定的 t 值,它总是在一个区间变化,运用于(4)式之中,得出的 Q 值也只是一个区间。如何得出一个合理的 Q 值,既满足热处理的工艺要求,又利于喷液系统的结构设计呢?根据笔者的设计实践,对于小型金刚石锯片基体, t 值可取小即 Q 取大;而对于中、大型金刚石锯片基体, t 值要取其区间的中间值。若 t 取小值,会使 Q 值过大,造成实际上不能使用或者说无法使用;而 t 取大值,又会造成 Q 值过小,要冒难以满足工艺要求的风险。

二、系统动力参数的确定

确定了合理的 Q 值后,系统的动力参数就比较容易确定。首先根据所需的喷液量,查相关手册,即可

得到满足需要的油泵。在这里以选用齿轮泵较为合适,尽量不要选用离心泵。这是因为齿轮泵正、反转均可泵油,而离心泵不能。喷液泵的压力不需要很高,一般0.6MPa已完全满足要求。若生产工艺要求或者生产场地所限,喷液泵安装在离使用点较远之处,此时需要考虑淬火液在管路中的压力损失,喷液泵的压力应适当选高一些,但以不超出1MPa为宜。有了流量和压力参数,我们就可方便地选定喷液泵了。需要说明一点的是:运用压力与流量两个参数选泵,在这里应优先满足流量的要求;且选取的泵的流量只能比原确定的 Q 值大,而不能比原确定的 Q 值小。

选定了泵,与之配套的动力设备,现一般均选用电动机,也就随之确定了。

三、系统的结构设计

完成了上述两项工作,我们即可进行系统的结构设计了。对于整个喷液系统而言,结构设计是其核心。它的设计正确与否,决定了整个系统的命运。

喷液结构设计的关键点是要保证金刚石锯片基体在压力淬火过程中喷液的均匀性;用专业术语讲,就是配液的均匀性。从而实现锯片基体淬火后硬度均匀,变形小的工艺要求。为了实现配液的均匀,一般有两种结构形式:即树干状与圆环状(见图1、图2)。不论采用何种结构形式,其设计方法基本相同。笔者下面以树干状结构为例,尽可能详细地介绍其设计方法,以期抛砖引玉。

根据流体力学理论,液体要形成喷射,其流速必限制在一定范围内。而在流量一定的条件下,流速与流体所流经路径的横截面积息息相关。忽略摩擦力的影响,将流体看作理想流体时,在流量一定的条件下,流体的流速与其通过路径的横截面积成反比。因此,在设计喷液系统的结构时,选择合理的喷液流速是十分关键的。

那么,我们应该如何选择喷液流速呢?

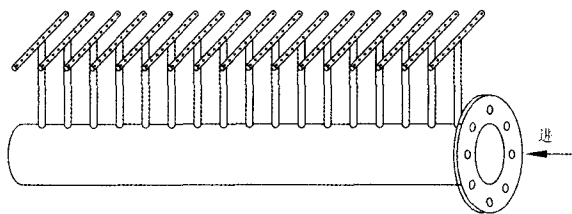


图1 树干状布置的喷淋系统

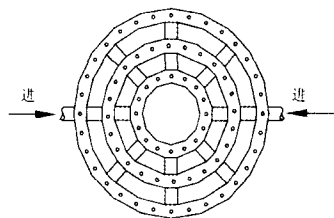


图2 圆环状布置的喷淋系统

图1所示的树干状喷淋系统，它由主管、支管、支横管及若干喷孔组成，其实质就是人们常说的穿孔管配液系统，它属于大阻力配液系统之范畴。一般地讲，为保证配液的均匀性，有三种配液方式，即大阻力配液、中阻力配液与小阻力配液。大阻力配液系统能定量地控制喷液分布的均匀程度，工作可靠，但液体压力损失较大；而中、小配液系统正好与此相反。对于喷液压力淬火而言，首要的是要满足喷液均匀；而对于液体压力损失在这里处于次要位置。正因如此，我们在这里采用穿孔管大阻力配液系统作为喷液压力淬火工艺的喷液系统。

对于穿孔管大阻力配液系统其设计计算要点如下：

1. 选择喷孔流速 v_0 。一般可取 $v_0=3.5\sim 6m/s$ 。 v_0 不可取的太小，否则不易形成喷流；而取得较大，在流量一定条件下，喷孔直径会较小，而此时容易堵孔。根据笔者的设计实践，喷孔流速以取中间偏下值为佳：

$$v_0 = \frac{Q}{\omega_0}$$

式中： Q ——系统确定的总喷液量；

ω_0 ——配液系统喷孔总面积。

2. 计算确定配液系统的开孔比。我们将喷液系统中喷孔的总面积与喷液淬火中所需的最大喷液面积之比称为开孔比。其值为：

$$P = \frac{\omega_0}{\Omega} \times 100\% = \frac{q}{10v_0} \% \quad (5)$$

式中： q ——喷液强度，其值为确定的喷液量与所需的最大喷液面积之比，即 $q \frac{Q}{S}$ 。

3. 计算系统所需喷孔总面积 $\omega_0 = p \Omega$

4. 选取喷孔直径。一般喷孔直径取 $d_0=2.5\sim 5mm$ ，则该配液系统喷孔总数为：

$$n = \frac{4\omega_0}{\pi d_0^2} = \frac{4q\Omega}{1000\pi v_0 d_0^2} \quad (\text{个}) \quad (6)$$

在这里若出现小数，应进行整圆处理。同时，为了结构布置方便，其喷孔总数有时有必要进行一些微量调整。注意在进行了微量调整之后，一定要进行喷孔流速验算，以保证喷孔流速在允许的范围内。

喷孔在支横管上应均匀布置，同时考虑到喷孔的整体布置要均匀；即要求每个喷孔所管辖的区域面积基本相等。

5. 喷液系统的主管始端流速一般为 $v_1=1.0\sim 1.8m/s$ ，支管始端流速一般为 $v_1=1.5\sim 2.6m/s$ 。选取时亦以取中间值为佳。有了流量与流速，就可方便地确定管径了。需要注意的是经计算确定的管径，一定要整理成符合标准系列的公称管径。若计算出的管径与标准系列的公称管径出入较大，则应重新选取管道流速，重新计算，直至满足要求为止。

6. 喷液系统的压力损失计算可按下述公式进行：

$$H = H_0 + \xi_1 \frac{v_1^2}{2g} = \xi_2 \frac{v_2^2}{2g} \quad (7)$$

$$H_0 = \frac{1}{\mu^2} \cdot \frac{v_0^2}{2g} \quad (8)$$

式中： H ——系统总的压力损失；

H_0 ——喷孔的压力损失；

v_0 ——喷孔流速；

- v_1 ——主管始端流速;
 v_2 ——支管始端流速;
 μ ——喷孔流量系数, 与孔径、管壁厚度有关;
 ξ_1 ——主管流量系数;
 ξ_2 ——支管流量系数。

对于喷液系统中其它连接管道的压力损失计算, 均参照有关设计手册的规定执行, 这里不再累述。

根据上述计算, 绘出喷液系统的结构图、零件图, 喷液系统的结构设计即告完成。由于喷液压力淬火是在高温环境中进行的, 系统结构的强度、刚度等设计应充分考虑到高温这一特性; 同时结构设计中还应考虑到系统的防火、除烟等问题, 须为防火、除烟等设施的布置安装预留出必要的空间。

在自由加热、加压喷液冷却淬火工艺的喷液系统的设计中, 要十分重视喷孔的堵塞问题。因为锯片基体在淬火处理的过程中, 不可避免会产生一定程度的氧化皮; 氧化皮的脱落, 加上喷液中含有的其他杂质与之混合, 极易堵塞喷孔; 而喷孔的堵塞将导致整个系统的瘫痪。我们在设计中采用两种方法来防止喷孔的堵塞: 一是在系统中引入压缩空气对喷液系统进行定时的吹扫; 二是对喷液进行粗、精多级过滤, 以保

证进入喷液系统的喷液的清洁度。经过上述两种方法的处理后, 喷液系统的使用寿命及其可靠性均得到保障。在条件允许的情况下, 将喷孔结构设计成可更换的喷嘴形式, 将会给实际使用带来更多的方便; 但如此做会增加较多的成本。如无特别需要, 一般不应采用。

四、结语

前已述及, 大直径、超薄的金刚石锯片基体的自由加热、加压喷液冷却淬火还是一个新生事物, 笔者根据自身设计实践, 归纳整理出上述资料, 供同行们在设计该类设施时参考。笔者希望以此进一步推动自由加热、加压喷液冷却淬火技术的推广运用, 进一步促进该技术的进步与发展。

由于是新生事物, 同时限于笔者自身水平, 根据笔者设计实践归纳整理出的资料, 其错误在所难免。热忱期望专家同仁批评指正。

参考文献

- [1] 《机械设计手册》新版第4卷, 机械工业出版社, 2004年8月
- [2] 《给水排水设计手册》第二版第3册, 中国建筑工业出版社, 2005年12月
- [3] 《热处理手册》第2版第3卷, 机械工业出版社, 1992年10月

中国石材工业协会将继续组团参加第四届中国国际建筑展

第四届“中国国际建筑展”将于2009年10月14日至16日在北京国际展览中心举行。建筑业是石材产品最重要的市场领域, 为更好地向建筑界展示石材企业和产品、加强与建筑业的沟通、交流与合作, 帮助业内优秀企业开拓市场, 协会决定继续组织部分大型骨干石材企业参展。本届展会, 石材展团与建筑设计机构展团同在一号馆, 这将更利于两个行业间的交流。望广大石材企业积极参展, 展示企业的最新产品和技术水平。展会期间还将继续组织石材企业与建筑师的专场交流活动。

“中国国际建筑展”立足中国建筑业的蓬勃发展, 服务于建筑设计、建筑材料与建筑施工领域, 已成功举办三届, 2008年的展会共有13个国家和地区的200余家建筑设计机构、建筑材料、建筑施工企业参展, 吸引了50多个国家和地区的25000多名国内外专业人士莅临展会采购洽谈, 促进了建筑设计、建筑材料及建筑工程企业的互动交流。

联系人: 邓惠青、田静 联系电话: 010-6834 0348

(田 静)