

聚乙二醇(PAG)类淬火液的性能与使用

好富顿(深圳)有限公司北京服务站 乔 健

本文介绍了 PAG 类淬火液的应用范围、物理性能及冷却机制,指出它的冷却机制与水、油的冷却机制完全不同。还叙述了 PAG 类淬火液的使用性能及其影响因素、老化寿命和使用这种淬火液涉及到的淬火系统改造的具体计算方法。

The Property and Application of PAG Quenchants

Qiao Jian

(Beijing Service Station, Houghton Co., Ltd.)

This article deals with the application, property and cooling mechanism of PAG polymer quenchants. It is pointed out that its cooling mechanism is quite different from the mechanisms of oil and water. The recounts of the usability, restricted condition, ageing stability of PAG quenchants, the design calculation related to modified quench system where PAG quenchants are used are also described.

一、前言

有机淬火液 60 年代开始在国外应用,而在钢铁及有色金属的热处理中得以广泛应用是在 1975 年以后。特别是聚乙二醇 (PAG) 类有机淬火液进入市场以来,小至针状零件,大至由一个铸锭锻成的大锻件都可以处理。适用的热处理炉型包括除盐浴炉以外的所有炉型。能适用的工艺如锻后余热淬火,渗碳淬火、气体碳氮共渗淬火、光亮淬火、调质淬火、表面淬火等。PAG 类介质可提供从冷油到盐水之间的任意冷却速度,也可以完全代油淬火。目前业已成为热处理工艺中较为理想的淬火液。

二、PAG 类淬火介质的性能

PAG 类淬火液以 PAG 溶于水的浓缩液供应。稀释后为无色透明、无嗅、无毒的液体,完全不燃烧。该类淬火液具有逆溶性,即溶液温度升高到一定值,聚合物由水中析出,而当液温低于此定值之下,聚合物又溶于水中。此温度称为该聚合物的浊点,也叫逆溶点。

1. PAG 淬火的冷却机制

工件的淬火过程一般分为蒸气膜、沸腾和对流三个阶段。第一阶段中,在工件周围形成一层厚度均匀的 PAG 聚合物膜,减少了热应力。聚合物浓度越高,这层膜越厚,聚合物的浊点越低,膜破裂所需时间越长。因此选择不同浊点的 PAG,并且可以通过浓度的不同调整蒸汽膜阶

段的长短。

当工件表面温度低于 PAG 浊点时,这层薄膜由于聚合物的溶解而加速破裂,介质的冷却能力由淬火液汽化热、传热能力的大小及沸点的高低所决定。汽化热大的介质冷速快,沸点低的介质沸腾时期的时间长。而聚合物的作用在于因逆溶性而使第一阶段早结束。在第二阶段中使蒸汽泡碎小而易破裂,加快了沸腾期的冷速。

介质温度降至其沸点以下时进入第三阶段。此时依靠对流进行热交换。介质的冷却能力与其比热、粘度、导热率及工件表面与介质的温差有关。为了减少工件的变形、开裂及残余应力,此阶段的冷速要保持最小。PAG 聚合物浓度的调整可以影响粘度和导热能力,从而影响介质在此阶段的冷却能力。

2. 浓度、温度、搅动对冷却性能的影响

PAG 淬火液的冷却能力可以随使用溶液的浓度、温度的改变而调整,因此提供了宽阔的冷速选择范围。图 1、图 2 表示淬火液浓度对其最大冷速和 300℃ 时冷速的影响,由图可知,随浓度增加,淬火液的最大冷速改变较多,而浓度大于 15%,马氏体区即 300℃ 的冷速变化不大。图 3、图 4 为温度对冷速的影响。由图可知,溶液温度高于 40℃ 时,最大冷速下降剧烈。而 300℃ 冷速的变化基本为一常数。

搅动主要起确保溶液温度均匀,使所有工作表面形成均匀的 PAG 膜的作用,将冷却的溶液不断地充实于工件

周围。搅动能使上述所讲三个阶段的冷却均有所加强。由图 5、图 6 可知搅动对马氏体区的冷速稍有提高。一般使搅动程度控制在流速 $0.2 \sim 0.7 \text{ m/s}$ 这样一个冷却性能比较

稳定的范围之内。搅动必须保证方向性，液流流经工件而不产生“短路”现象。

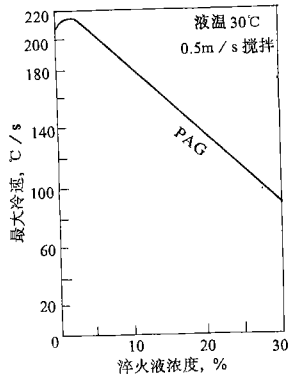


图 1 浓度对介质最大冷速的影响

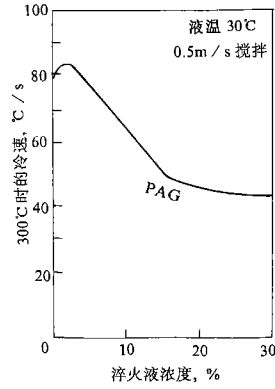


图 2 浓度对 300°C 冷速的影响

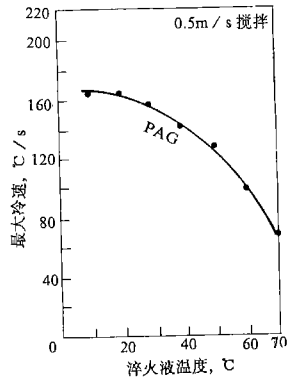


图 3 温度对介质最大冷速的影响

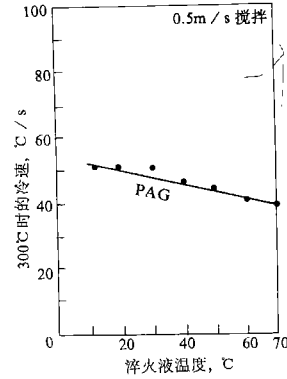


图 4 温度对 300°C 冷速的影响

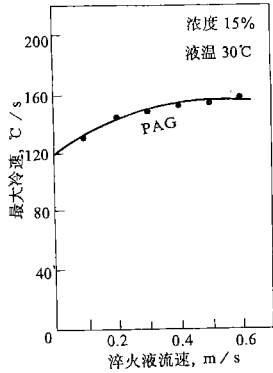


图 5 搅动对介质最大冷速的影响

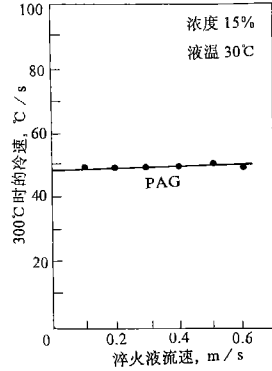


图 6 搅动对 300°C 冷速的影响

3. PAG 相对于聚乙烯醇和聚醚的优点

目前国内常用的有机介质主要是聚乙烯醇 (PVA)，也有部分厂家使用聚醚。PAG 与二者的比较见表 1。

4. PAG 相对于淬火油的优点

PAG 类淬火液的比热几乎达矿物油的 2 倍，温升却为油的一半。工件淬火的带出量为油的 5~10%。淬火工件不需清洗，而且具有防锈功能。淬火液管理得好，可以数年循环使用。加之在改善劳动条件及环境卫生方面的优越

性，在改善工件淬火质量方面的经济性，因此对于不少钢种和零件，是取代淬火常规用油的较为理想的代用品。

三、影响使用性能的因素与控制方法

1. 油含量对 PAG 冷却性能的影响

经机加工的工件，特别是局部感应加热后淬火，往往将油带入淬火槽中。图 7 为淬火油含量对 PAG 最大冷速的影响。由图可知，随油量增加，PAG 的最大冷速略有下降，然 300°C 的冷速实际上不变。因此对于感应淬火的

表1 PAG 与 PVA 及聚醚的性能比较

介质名称	化学特性	物理特性	冷却特性	应用范围
聚乙烯醇 (PVA)	非离子型, 遇无机盐易分解。分子链短。易老化	无逆溶性, 遇机械作用分子链易拉断。浓度不易控制	冷却性能不稳定, 在工件表面形成油漆似粘膜, 淬火后附在工件上, 夏天易发臭	中碳及中碳低合金结构钢感应淬火
聚醚		有逆溶性, 气味大	在工件表面形成粘膜难于清洗。易发臭。工件的带出量大, 影响环境	中、低合金钢代油淬火
聚乙二醇 (PAG)	非离子型, 遇无机盐不分解, 分子链长	比上二者具有更大的剪切稳定性, 分子链不易拉断。浓度易控制。有逆溶性。无气味, 不易老化发臭	冷却性能可靠, 易于控制和管理。在工件表面不形成难于清洗的粘膜, 淬火后不必清洗可直接回火	碳钢、渗碳钢、合金钢表面淬火, 整体淬火可代油淬火

工件, 最好在热处理前进行清洗去油。整体加热的工件在加热过程中基本上已将油烧掉, 因此影响不大。同时在 PAG 的使用中应注意勿使油棉丝等物体掉入淬火槽中, 加强管理即可避免油的污染。

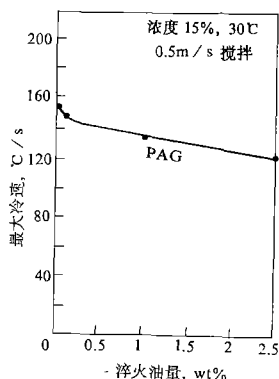


图7 油含量对最大冷速的影响

2.盐分对 PAG 性能的影响

盐分由于破坏蒸汽膜在工件表面的滞留而加快第一阶段的冷速。盐分对 PAG 的影响还在于使浊点下降, 如图8所示。因此钢铁在盐浴加热处理的情况, 不推荐使用 PAG 类淬火液。然而对于铝合金的盐浴加热, 由于其最大

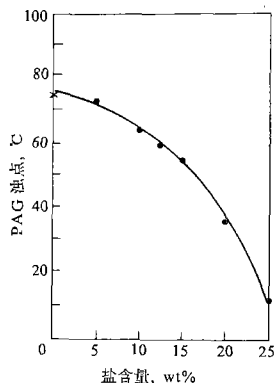


图8 盐分对 PAG 浊点的影响

冷速, 几乎不受盐含量增加的影响, 可以推荐使用。但是当溶液中盐含量超过 12.5%, 应使用热分离法将溶液再生。

3.细菌的生长条件及消除方法

PAG 类淬火液本身是厌氧的, 不存在细菌繁殖的条件。除非将棉丝、机油等有机物置于其中造成细菌的温床。另外如果溶液长期不用, 在溶液与空气接触的表面, 可能因为漂浮的灰尘、油滴而给细菌生存创造条件。消除的办法很简单: 管理得当, 保持溶液清洁, 对于长期不用的淬火液则实行定期搅动, 当细菌被搅入溶液中, 即自动去除。因此该类淬火液可以长期循环使用, 而不发臭。

4.老化寿命

AQ251 及 AQ364 等 PAG 类淬火液的使用量与工件淬火总重量之比为 1:15。即为 1kg 工件淬火需 15 升淬火液。即每升淬火液淬火量为 0.067kg。如果加大单位淬火量由 0.5kg/l 至 100kg/l, 来观察 PAG 的冷却性能变化, 即相当于连续使用 2-3 年的寿命情况。图 9、10 分别为一次淬火量对最大冷速及 300°C 冷速的影响。由图可知, PAG 类淬火液比吡咯烷酮 (PVP) 和聚丙烯酸钠 (PSA) 的冷却性能都稳定, 老化寿命最长。在国外, PAG 类淬火液已有使用十几年不更换的记录。

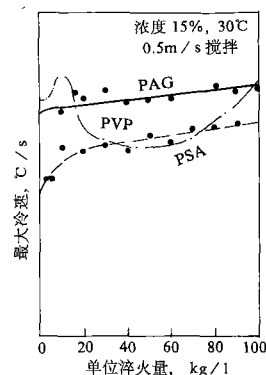


图9 累计淬火量对最大冷速的影响

5.与油的带出量的比较

PAG 淬火液因粘度比油低得多,加之在油点以下完全溶解于水,因此淬火时工件带出的量仅为油的 5~10%。见图 11。

综上所述,影响 PAG 使用寿命的是环境对它的污染。只要管理得好,PAG 类淬火液可以长期使用,不老化的、不变质。其经济效益比用淬火油和它有机淬火液要好得多,并且稳定可靠。

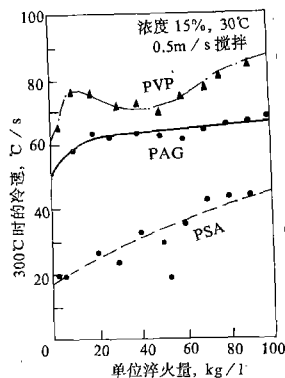


图 10 累计淬火量对 300℃ 冷速的影响

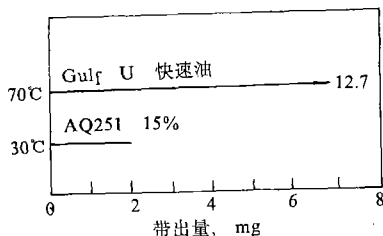


图 11 AQ251 与快速油带出量比较

四、PAG 类淬火液的应用技术

1.溶剂量及最佳浓度选择

如上文所述,一次最大淬火量或小时生产量(包括夹具重量)的 15 倍即所需 PAG 淬火液的重量,由此来确定淬火槽的大小。根据工件的钢种及要求的淬火硬度来选择大致的 PAG 使用浓度。中低碳钢、低碳低合金钢、渗碳钢一般选择 5~10% 的浓度范围,共析钢、中碳低合金钢选择 10~15% 浓度,中碳合金钢如 42CrMo/GCr15 等选择 15~25% 的浓度。具体的钢种及工件要经过小件试淬来确定一个最佳浓度范围。用析光仪控制这个浓度范围,就能保证合乎工艺要求的最佳淬火效果。

2.搅动系统设计

搅动是必需的,但有个限度,即不造成液面形成泡沫和空气进入,以避免产生软点。采用泵循环,要使淬火区内液体每分钟循环一次。槽内要设有进液管,导流板的设计必须使液流向上流经工件淬火区。

采用螺旋桨搅动以转速 420 转/分为宜。螺旋桨置于导流管内,导流管内径应比螺旋桨直径大 25mm,以得到

高效泵式液流效果。见图 12、13。

3.温度的选择及冷却系统设计

根据图 3 可知,溶液的温度对其最大冷速的影响较大。因此采用降低浓度,提高使用温度的办法和浓度不变,降低使用温度的办法对于调整冷速都是有效的。在浓度确定后,对于中低碳钢、渗碳钢、低碳低合金钢,推荐的温度范围为 25~40℃,对于合金钢一般为 35~58℃。由此也带来溶液的加热与冷却问题。

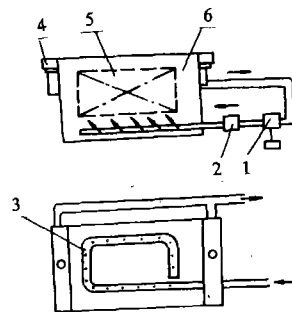


图 12 泵循环搅动淬火槽

1.泵;2.过滤器;3.带喷嘴的进液管;4.溢流槽;5.工件;6.淬火槽

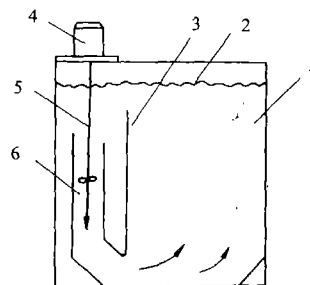


图 13 带螺旋桨搅动的淬火槽

1.淬火槽;2.液面;3.溢流板;4.马达;5.螺旋桨;6.导流管

加热一般不推荐直接通入热蒸汽,以避免影响工件淬火质量。用热蒸汽管、电阻丝或管式加热器均可。只要淬火液在室温使用不产生零件质量问题,不必特别加热,但冷却是必要的。通过搅动和循环冷却必须使淬火液的温度低于其逆溶点才能保证零件淬火质量,否则由于 PAG 从溶液中析出而造成冷却性能的改变,导致软点或开裂。

冷却方式的选择首先要根据淬火槽的容积及最大淬火量计算出工件总散热量和槽液的升温。由于 PAG 在溶液中浓度很低,其比热近似按 $1\text{ k} \cdot \text{cal} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$ 计算。公式(1)为槽液升温计算公式:

$$\Delta t = \frac{G(C_1 t_1 - C_1 t_1')}{\tau \cdot V \cdot C_2} (^\circ\text{C}) \quad (1)$$

式中 G 为一次淬火工件及卡具的最大重量

τ 为两次淬火之间的时间间隔

C_1, C_1' 为工件冷却开始及冷却终了时的比热

t_1, t_1' 为工件冷却开始及冷却终了的温度

对于AQ251及AQ364, t_1' , 一般取60℃即可

V为淬火槽内溶液的体积 (m^3)

C_2 为PAG淬火液平均比热, 近似于1

公式(2)为淬火液散热量的计算公式:

$$Q = V \cdot \Delta t \cdot C_2 (k \cdot cal / h) \quad (2)$$

根据公式 (2) 计算需要的冷却水流量如公式 (3)

$$V_L = \frac{Q}{C_L(t_L - t_L')} 10^{-3} m^3 / h \quad (3)$$

式中 C_L 为冷却水的平均比热 = $1000 k \cdot cal / m^3 \cdot ^\circ C$, t_L , t_L' 为冷却水进出口温度, 选择时一般考虑夏天的最高限。

根据公式 (3) 的计算结果, 来选择冷却器的种类。目前冷却效果最高的是板式冷却器, 列管式冷却器次之, 最差的是在淬火槽中加盘管冷却。

4.已有淬火槽的改造

由于使用 PAG 类淬火液对溶液温度的要求, 现有使用中的淬火槽的冷却能力要重新核算。对于原有油槽改用水基淬火液, 有以下几个方面来考虑改造的可能性。

(1) 搅动系统和过滤器

大部分使用中的淬火槽没有搅动装置, 要考虑安装螺旋桨搅动器。从顶部插入是最省事的, 用一般船用螺旋桨加电机和减速装置即可。淬火槽容积与搅动功率的关系如表 4。

表 4 淬火槽容积与搅动功率的关系

淬火槽容积 (m^3)	搅动最小功率(W / L)			
	油	AQ251	AQ364	水、盐水
<3	1.0	0.9		0.8
3~7.5	1.15	0.95		0.8
7.5~12	1.20	1.10		1.0
>12	1.40	1.20		1.0

除搅动螺旋桨外淬火槽要相应安置导流管及导流板, 导流板必须安装在液面下 300mm 以下的位置, 以免造成漩涡使空气卷入。有关参数可以查阅化工设计手册。

过滤网可采用网式, 网孔尺寸一般为 $50\mu m$ 。

(2) 循环冷却系统

一般车间里的油槽通过储油槽循环冷却, 有些有水冷循环, 有些靠自然冷却。改用 PAG 淬火液, 不一定要储液槽, 根据淬火量的大小, 有些可用单独一个淬火槽加水冷却器, 比较经济合理。如果车间几个淬火槽都采用同一浓度范围的 PAG 淬火液, 就一定要有储液槽、循环水冷却器及水塔。选择哪种经济合理要根据计算结果而定。

(3) 不同炉型设备使用 PAG 淬火液的可能性

文章开始就介绍了 PAG 淬火液适用于多种炉型。对于大多数炉型, 使用开式淬火槽不涉及炉型结构的改造。图 14 为开式淬火槽结构。

对于网带炉淬火, 工件离开炉体进入淬火液之前要经过一个滑槽, 在这一段空间要有足够的淬火液的喷幕以避免工件与空间接触。同时使淬火液的水蒸汽不能进入炉内。见图 15。

进口的多用炉, 如果说明书上指明可以用聚合物淬火液的无需改造。对于未指明的, 以及国产的多用炉, 由于内门密封性不够, 要加一道密封。淬火液的表面处设置喷嘴, 使淬火液形成水帘, 以带走炉门附近淬火液的热量, 避免水蒸汽对炉内气氛的影响。同时在淬火时略微提高炉内压力, 见图 16。

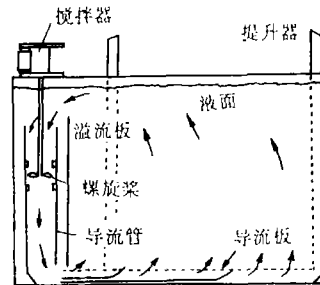


图 14 带搅动的开式淬火槽

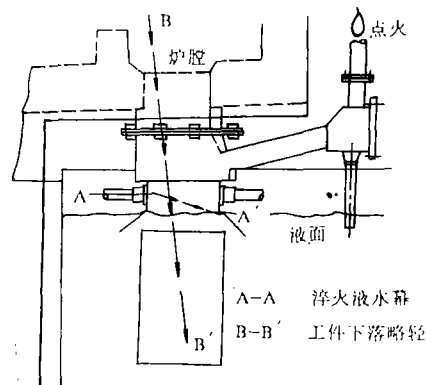


图 15 带淬火液喷幕的滑槽

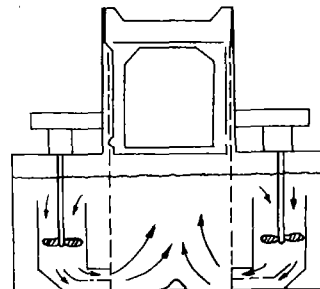


图 16 多用炉的淬火槽

五、结 语

PAG 类淬火液的使用是国外在淬火冷却技术上的进步。其理论与实际的发展导致出现了这样的前景: 根据选择的钢种和零件要求的力学性能, 确定此工件淬火的临界冷却速度。根据冷速要求, 选择合适的淬火介质及其使用条件。对于有机淬火液, 包括推荐的浓度及溶液温度。而以上的过程是由计算机来完成的。相信在国内, 这种计算机诊断技术用于热处理生产的一天也将会到来。

(参考文献 略)