

淬火冷却与淬火介质

美国金属学会淬火冷却委员会委员
好富顿(深圳)有限公司市场经理

乔健

1 问题的提出

长期以来,热处理行业重热轻冷,忽视淬火冷却技术的重要性,采用几十年一贯制的淬火槽及水、油两种介质,以不变应万变,极不适应机电产品提高质量、走向世界的需要。在1991年国际材料热处理联合会召开的“冷却与渗碳”专题技术讨论会上,会议主席 Liscis 教授指出:“在热处理过程的各个环节中,淬火冷却的水平是最低的,因此是热处理技术中最后一个需要有效控制的环节,也是确保热处理质量必须要解决的”。

淬火冷却过程控制作为一项技术,应包括:淬火介质性能的测试;正确选择淬火介质;使用中淬火介质的性能监控和维护保养;冷却工艺参数的控制;淬火系统的设计或改造;工件淬火性能的预测。

2 淬火介质冷却性能的测试及冷却曲线分析

淬火介质冷却性能的测试方法有多种,其最常用也是最古老的办法是磁性法,也叫镍球法。它是用加热到850℃的镍球放入介质中冷至其磁性转变点的时间来表示介质的冷却能力。去年国际材料热处理联合会及美国金属学会的淬火冷却委员会经讨论,准备将镍球的材料改为镍-铬合金。此法不能显露金属在冷却全过程的详情,只能作为一种粗略的定性手段,多用于淬火油的性能测试。

第二种目前较常用的方法是用金属探棒加热后淬入介质,焊在探棒或球的几何中心的热电偶记录冷却全过程的温度变化,作出时间-温度曲线,再积分成冷却速度-温度曲线。要注意的是:(1)不同材料制成的探头,其不同形状和不同尺寸都对冷却曲线有影响,因此对于不同介质冷却性能的比较,必须是完全相同的材料、形状、尺寸的探头测出的曲线才有可比性;(2)曲线座标的单位必须完全一致,例如冷却时间的采样,有用20s,有用60s作为全座标的,画出的曲线的斜率就大不相同。为改进以上的不足,瑞典生产工程研究所研制生产的IVF冷速测试仪是目前世界上最先进也最方便的测试仪器。在现场或实验室使用,电脑处理、打印,并具有存贮功能;重现性最好,测试速度最快。

用探头测出的冷却曲线可以较明显地反映出淬火过程的蒸汽膜、沸腾、对流三个阶段。要获得强烈的淬火效果,就要设法破坏蒸汽膜,使工件周围的淬火液提前进入沸腾阶段。沸腾阶段一直延续到淬火介质进入对流传热的缓冷阶段。冷却曲线上反映出的特性温度点、最大冷速点及对流开始点,分别标志一种淬火介质的冷却特性。蒸汽膜时间的长短、最大冷速及最大冷速温度都对钢的淬硬结果起决定性影响。对流阶段的冷速,因影响马氏体转变的速度及时间,所以直接影响着工件的残余应力及变形和开裂倾向。冷却能力强的淬火介质除蒸汽膜时间短、最大冷速大以外,还应具有特性温度与对流开始温度之间足够的跨度,以适应更宽范围的钢种淬火的需要。

从理论上讲,冷却曲线可以直接叠加于钢材的CCT图,预测热处理的结果。不过这是一项复杂的数学和物理技术,至今还远未研究到可以实用的阶段。

3 淬火介质的分类及性能

淬火介质分油类和水性淬火液。一百年前,好富顿公司在世界上第一个用矿物油代替动物油淬火,并开创了享有国际盛誉的完整的淬火油系列。其中包括快速油、中速油、分级淬火油。

淬火油的性能包括闪点、比重、粘度、残炭、中和值、皂化值、灰分、油垢、沉淀数及冷却速度。其中中和值、皂化值、沉淀数都反映油的抗高温氧化及抗老化的能力。新、旧油对比残炭增加值反映油被氧化的趋势大小。淬火油的粘度仅说明基础油是石蜡基、环烷基还是芳香基的。好的淬火油用石蜡基油以保证良好的抗氧化及抗老化性能。

20世纪以来,淬火液的应用有了长足发展。从水到可溶性盐;从纯矿物油到合成油,最后到快速油。然而即使最快速的油也比水基淬火液冷速慢,故在水一油之间有一较大的空间需要新的淬火介质来弥补。聚合物淬火液应运而生。它的出现使低淬透性钢代替合金钢使用,成为工厂降低成本的有效途径之一。

聚合物的专利很多,但成功地应用于淬火液实践的只有以下四种:

(1)聚乙烯醇(PVA) 50年代用于工业生产。PVA浓度轻微的变化会导致冷速改变很大,而0.01%以下的浓度在室温与水的冷却性能差别不大,同时工件淬火后会带出一层难清洗的聚合物,造成浓度下降。因此需要频繁测试和严格控制浓度才能保证其淬火效果,但其浓度只有用粘度计检测,又较难做到。

(2)聚烷撑乙二醇(PAG) 是氧化乙烯和氧化丙烯的聚合产物。改变分子量及氧化物的比例可开拓广泛

的应用性。有逆溶性，即淬火时工件表面形成一层均匀的聚合物膜，到逆溶点以下又溶解回水中。这既减小了变形、开裂及软点的可能性，又使工件淬火后好清洗或不清洗直接回火。恰当浓度选择可加速金属表面的浸润性，使冷却效果比水快，达盐水效果。

浓度、温度、搅拌是控制其冷速的主要因素。

(3) 聚乙烯吡咯烷酮(PVP) 1975 年开始用于淬火剂领域，没有逆溶性，在工件表面成膜。用折光仪只能初步控制浓度，粘度法推荐用于最终浓度控制。

(4) 聚丙烯酸钠(ACR) 1977 年在 ASM 热处理会议及展览会上首次介绍，是与 PVA、PAG、PVP 完全不同的聚合物淬火液。前者为非离子型，而聚丙烯酸钠是阴离子型；它加热时不分解，不在工件表面生成聚合物膜。其冷速比其他聚合物都慢。这是由于蒸汽膜阶段的延长及沸腾期热交换的降低造成的。随着浓度及液温的增加，其冷却速度可降到使工件生成贝氏体或珠光体程度。这个特性使其适用于高淬透性钢制的开裂倾向大的工件代替油淬，获得降低成本、节能及良好的环境效益；用于锻件冷却，可防止在空气中缓冷时产生的过氧化物皮及脱碳，并可获得与空气中缓冷得到的同样的组织；也可用于固溶处理后铝合金的淬火以减少变形和翘曲等。

聚丙烯酸钠的浓度检测用动力粘度法，并定期检测冷却曲线。

4 淬火介质的选择

4.1 淬火油的选择

(1) 恰当的冷速及使用温度 要根据工件的材质、热处理要求及变形控制选择合适的淬火油(表 1)及其使用温度(冷油<100℃，热油>100℃)。

表 1

名称	适用钢材	冷却速度范围	
		GM 法(s)	IVF 仪法(℃/s)
一般淬火油	高淬透性合金钢	13~20	60~70
中速淬火油	中、高淬透性钢	10~12	70~90
快速淬火油	低淬透性钢、渗碳钢	7~9	90~120

(2) 淬火油的质量判断 从物理性能、淬火效果、使用寿命三个方面判断淬火油的质量。其物理性能：

① 闪点、粘度：关系到油的散热能力及防火安全性。粘度高的油散热慢，在与空气接触的表面，温度会超过闪点，易着火。

② 中和值、皂化值：随油的氧化加重而升高。

③ 灰分：油中不燃物的量度。新油灰分的多少并不表示油的好坏，因为有些添加剂是不燃烧的，使新油灰分值高，要用新旧油灰分值的对比才能看出油的

好坏，即抗氧化的能力。

④ 残碳：在氧不充分的条件下，热解生成含碳的残余物，表示油形成残渣的趋势。但因降低油渣倾向的添加剂可能增加残碳值，因此该值失去了本来意义，必须和添加剂的量一起来评价。

⑤ 水分：造成淬火裂纹、软点、硬度不均、工件锈蚀。新油无水分，使用中要控制水分<0.1%。

⑥ 油渣(垢)：不稳定的淬火油形成油垢的倾向大。油垢会堵塞冷却器，降低淬火系统的效率，使工件有黑斑，难清洗，同时使油的粘度、油温升高，造成淬火不均。

20# 机油是冷加工润滑油，其水分允许含量为 4%，加之其中没有抗氧化抗高温分解的添加剂，不适于做淬火油。

好的淬火油不易生成油垢，工件易清洗，过滤器、冷却器系统畅通，能耗低；在长期连续使用中能保持淬火速度及淬火效果重复性好，长期稳定不易老化。

4.2 水基淬火液的选择

(1) 水基淬火液的优点 通过调整浓度来任意选择冷速，以代替水淬油冷及代油淬火；减少变形开裂倾向；淬火硬度均匀；无毒、无污染；使用管理方便；寿命长，性能稳定；工件易清洗；安全、环境清洁。

(2) 加热炉型及淬火方式对选择的影响 盐炉不宜用。多用炉要有特殊设计(内门加强密封，加淬火液喷嘴；淬火时前室充 N₂)。喷淬比浸淬浓度低。

(3) 水基淬火液 AQ251、AQ364、AQ3601、AQ3630 的适用范围见图 1。

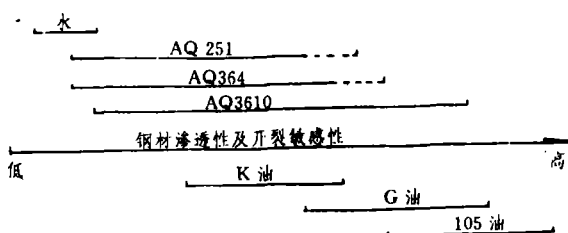


图 1 好富顿淬火剂应用范围

(4) 冷却工艺参数的控制 (浓度的选择，温度、搅拌的控制) AQ251 用于感应淬火，浓度在 5~8%；用于渗碳淬火件 8~12%；用于碳钢、低合金钢调质淬火 10~18%。AQ364 的使用浓度大致比 AQ251 低 2~3%，多用于合金钢。AQ3610 的浓度多用在 8~12%。总之，使用浓度要根据钢号、工件情况、工艺要求及使用工况经试用决定，每个工厂都需找到适合自己需要的浓度。使用中浓度的控制在±2%之内。

5 淬火介质的日常质量监控

(1) 淬火油的日常监测 粘度、闪点每周检查一次；水分每周定性检查一次，每月定量检查一次；油垢每季清理一次。

(2) 淬火油性能的改善 老化不大严重者：排水（即加热至 120℃，把湿气排完至油面不冒泡）；过滤（100 目双管滤网）；加适量添加剂。

好富顿公司可为客户检测淬火油的老化情况，用好富顿添加剂改善客户的淬火油性能。

(3) 水基淬火液的日常监测与维护保养 浓度用折光仪检测。液温一般控制在 25℃ 以上、50℃ 以下（用冷却循环系统可控制液温在此范围内）。搅拌一般可用螺旋桨搅拌器或泵送喷液的方式进行（搅拌器的转数一般在 400r/min）。

(4) 污染对水基淬火液的影响 油、有机物、氧化皮、碳黑均不影响淬火液的性能。油及有机物作为细菌的温床，可促进淬火液内杀菌剂的消耗，而使淬火液防腐能力下降，故要撇掉浮油，根据细菌的发展情况，适时加杀菌剂。氧化皮及碳黑悬浮在淬火液中影响折光仪读数的准确性，故应定期清理过滤器，使氧化皮及碳黑得以清除（如氧化皮量大，要定期将淬火液排至贮槽，清除淬火槽底的氧化皮）。pH 值如小于 8.5，容易造成工件锈蚀，故要定期检测，一般浓度在 5% 以上的淬火液具有足够的防锈剂。硬水会消耗淬火液中的防锈剂，因此要适时添加防锈剂 211。

有些淬火槽设计的流量或落差过大，或泵漏气会导致淬火液起泡沫。除可加适量的消泡剂外，要找出起泡沫的根源，消除隐患。

6 淬火系统的改造

(1) 循环冷却：螺旋桨搅拌，泵送循环两种形式均可；不能用压缩空气搅拌，不能把淬火液直接送水上水塔喷淋冷却。

(2) 加热与过滤：过滤器、排水管及其它零件不要用铸铁、铜、铅及铝合金，密封元件不能采用软木、皮革，可采用塑料、橡胶。

(3) 系统的清洗要干净、彻底。

正确选择铸钢件内浇口位置三例

株州电力机车工厂(412001) 熊菊琴

浇注系统设计的成功与否，直接影响到铸钢件的质量和成品率。根据现场资料统计分析，因浇注系统设置不当，导致气孔、裂纹、疏松、缩孔以及冷隔和

浇不足等铸造缺陷占废品量的 30% 以上。因此，正确地设计浇注系统，对获得优质铸件有着非常重要的作用。其中内浇口引入位置确定的是否正确，对引起铸件缺陷，比其它工艺因素更为敏感。生产中，有些局部位置的疏松、缩孔、粘砂、裂纹等缺陷，往往就是内浇口位置设置得不当而引起的。若其它工艺因素不变，只适当改变内浇口位置，铸件缺陷即可消除。下面试举三例加以说明。

1 支承座

支承座(图 1)铸件重 110kg，材质为 ZG230-450，工艺布置为一箱 4 件，需钢水 560kg。

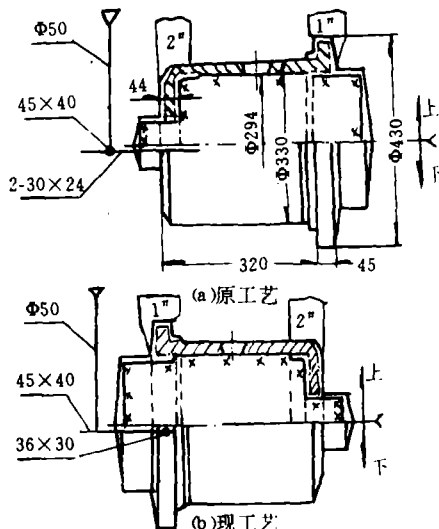


图 1 支承座及其铸造工艺简图

铸件在铸型中为水平卧式浇注位置，哈夫对称分型，中注式浇注系统，内浇口二道沿分型面从筒体的顶端两侧引入。结果，在内腔与内浇口对应的两处粘砂严重，并在机械加工过程中暴露出疏松缺陷，每件都需焊补修复。生产中曾采取增设 2" 冒口的工艺措施，也未能消除此缺陷。将内浇口改至法兰处(图 1b)，钢水从 Φ430 法兰引入型腔，问题即获得解决。

前后两种方案，内浇口引入位置处的壁厚相差不多，而出现问题的原因在于：原方案中内浇口引入处，端头坭芯被金属液包围，散热条件最差，而高温金属液长时间地从此处通过，使得该处坭芯温度也最高。恶劣的散热条件和过热的钢水直接冲刷坭芯，是其产生疏松和严重粘砂的根本原因。新方案中，沿分型面从法兰边引入金属液，此处坭芯的散热条件较之原方案处为好，且法兰也稍厚，并有冒口补贴块，这样就有足够的补缩通道，使得该处不会因过热而产生疏松缺陷。内浇口虽直对坭芯，但距离尚有 70mm，且呈开放式进入，对钢水有一定的缓冲作用，因此，