关于淬火冷却技术改造的一些体会

郑州机械研究所 （河南 450052） 牛万斌

一、目前淬火冷却技术状况简介

许多零部件都需要经过淬火以获得良好的组织和足够的强度，在淬火时很容易发生一些质量问题，例如硬度不均、变形、开裂等等。这个过程是在短暂时间内，甚至是在瞬间完成的，而且涉及到了温度场、相变场、应力与应变场以及流体场等复杂变化，而且定检测、预测和预防的难度都很大。

近几年，国内热处理工作者在淬火冷却方面做了大量工作，取得了一些进展。首先，在淬火介质研究、开发、市场化方面发展很快。在市场需求的推动以及进口产品的压力下，国产淬火介质在品种和性能上有了很大提高，例如在普通淬火油的基础上，通过各种添加剂而形成了快速淬火油、超速淬火油、光亮淬火油、真空淬火油等等，可针对性地用于齿轮、轴承、模具等工件，用户有了更广泛的选择范围。此外，水溶性淬火介质也发展迅速，但由于这种介质对于温度和浓度都非常敏感，用于大批量淬火时还存在一些问题，因此，国内热处理行业目前乃至以后相当长时期内仍以油类介质为主。本文所讨论的淬火设备也以淬火油槽为主。

同时，在淬火介质性能检测与评定方面，也有了突破性进展，郑州、天津等地已经生产出简便实用、符合相关国际标准的介质性能检测仪，既能很容易检测出淬火介质的冷却特性及其变化，也可以对不同介质进行比对，在淬火介质的选用、管理、改良等方面，更有针对性。

在淬火设备改造与更新方面，许多企业，包括民营企业越来越重视，纷纷把淬火冷却设备列入技改项目，用结构合理、功能齐全的新型淬火槽取代原来的简易淬火槽，在改善产品质量，提高生产效率，改善生产环境等方面成效显著。全行业不再把淬火设备看作无关紧要的辅助性设备，而是将其作为事关产品档次与企业竞争力的关键设备之一。

此外，在淬火冷却技术的机理研究、理论计算和计算机模拟试验方面，也达到了与先进国家相当的水平。今年11月下旬，第四届国际淬火与畸变控制会议将在北京召开。可以说，淬火冷却技术已经成为热处理领域内的热点之一。

二、淬火冷却设备改造中应该注意的问题

1. 关于搅拌功能

无论是水溶性介质，还是油类介质，搅拌都应该是必备的基本功能。首先，搅拌缩短了冷却过程的蒸汽膜阶段，提高了淬火烈度 H 值（如表1所示），其结果相当于提高了材料的淬透性。以渗碳淬火件为例，搅拌可以降低同样渗碳条件下的界限含碳量R（即硬化层内达到界限硬度值550HV所需要的含碳量），增加了有效硬化层深度 H_d（如表2所示）。可见，淬火介质的搅拌进一步挖掘了材料的强度潜力。

表1 油类介质不同状态下的淬火烈度

搅拌程度	静止	缓慢搅拌	中等搅拌	强烈搅拌
H 值	0.2～0.3	0.3～0.4	0.4～0.5	0.5～0.8

表2 某渗碳钢在不同淬火烈度下的界限含碳量和有效硬化层深度

淬火烈度 H	界限含碳量 R（质量分数，%）	有效硬化层深 H_d/mm
0.25	0.53	1.11
0.35	0.46	1.24
0.60	0.36	1.48

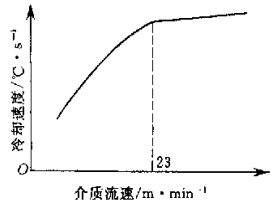
搅拌的第二个作用就是提高了淬火介质的利用率，延缓了介质的老化。许多企业中原始的淬火槽尽管装油量很大，有的还配有外循环油池，淬火介质和每炉淬火件重量之比已经达到了10～20，甚至更高，而淬火时还是容易出现淬火油过热、燃

烧。相比之下，进口的多用炉所配用的淬火槽，其容量也仅有几个立方米而已。问题的关键就在于介质的利用率。没有搅拌功能的淬火槽，即使容量再大，参加工件冷却和换热的介质也只是局部，热量集中于淬火区和液面，自然容易过热。当加上合理的搅拌功能后，淬火槽内的介质全部参加换热，其整体温升幅度并不很大。

此外，由于搅拌的作用，淬火零件周围的介质流动，置换速度加快，烧焦和炭化现象大为改善，因此介质的老化也相应减轻。

搅拌的第三个作用就是减小淬火油的燃烧程度（明火大小和燃烧时间）。工件淬油时起火，就是由于液面的温度达到了燃点以上，搅拌可使底部冷油与顶层热油快速而充分的融合，使表面油温很快降至燃点以下而熄灭明火。在降低火灾风险的同时也减少了介质的烧损。

既然搅拌功能具有上述诸多好处，是不是搅拌程度越剧烈越好，当然不是。首先是没有必要，工件的冷却过程就是自身热量向介质内传递的过程，在一定范围内，提高搅拌速度可以加快这个传递过程，但是达到一定程度后，工件心部热量向表面部位（界面）的传导成为制约因素，再提高搅拌速度，工件的冷却速度也很难提高，如图所示，因此存在一个搅拌速度的极限值，有的资料指出该极限值为23m/min左右。其次，无限度地加大搅拌速度，其结果会适得其反，有加大变形和硬度不均匀性的可能。因此，我们认为比较理想的搅拌速度是10～15m/min范围，这当然要考虑工件材料、工件尺寸和形状、装炉量等因素。



工件冷却速度与介质搅拌速度的关系

实现搅拌有多种方式，最原始的搅拌就是淬火时用吊车（行车）上下左右前后晃动，但这种搅拌人为因素太大，毫无规律性可言。

在某些可以集中供气的大型企业的热处理车间，通过通入压缩空气进行搅拌，在这种情况下，由于压缩空气中含有大量水分，淬火件冷却时有可能接触油、水和空气三种介质，冷却均匀性很难保证。此外，空气的通入加快了淬火油的老化，水分的加入使淬火油具有了突然喷发的危险性。

再讲究一点的淬火槽是采用泵搅拌，这种搅拌在淬火区内形成的流态场为层流，介质只作轴向（单向）运动，虽然局部的淬火烈度可以达到很高水平，但是淬火件的各个侧面（正面和反面）的冷却速度差极大。另外，即使扬程再大、流量再大的泵，也很难使整槽内的介质全部运动起来。

我们认为比较理想的是机械式（螺旋桨）搅拌，它在淬火区内所形成的流态场是由许多局部涡流（紊流）叠加而成，冷却介质既有轴向运动，也有周向运动，呈螺旋状前进，这使得淬火件不同侧面的冷却趋于均匀一般，有利于减小变形，提高硬度均匀性。针对不同材料、不同的工件尺寸和形状以及不同的装炉量，可通过采用多速搅拌电动机或配用电动机变频器的方法实现多种搅拌速度的选择。

综上所述，我们的观点是，淬火槽应该具备搅拌功能，建议采用机械式搅拌，不宜采用泵式搅拌，避免采用压缩空气搅拌。

2. 淬火介质的温度控制

均匀、稳定的介质温度是淬火质量稳定的一个条件。淬火介质的温度控制可通过加热系统、冷却系统和控温系统来实现。

对于许多用户来讲，加热系统不太常用，大概只有在冬季或节假日后开始淬火时才用，对于批量化生产尤其如此。对于油类介质的加热系统，应该注意以下几点：首先是要设计好加热器的表功率（即加热区内单位面积上的功率），有搅拌功能时，表功率一般在3W/cm^{2}以下，而静态淬火油时则应在2.5W/cm^{2}以下。其次，加热总功率是根据所要求的加热速度和温度来确定的，如果要求快速地达到所设定的温度，只有加大加热总功率。另外，对于某些淬火油槽，还必须考虑由于温度升高而引起的体积膨胀及液面上升，上部应留有足够的空间，这对于用于长轴类工件的深井式淬火油槽更有必要。通过已知的淬火油比容变化、温升幅度和介质总量可以进行计算和预测。

对于齿轮等产品来讲，人们对采用热油淬火以减小变形已经形成共识。在日本，早已开发出使用温度可达210℃的高温淬火油，其效果相当于盐浴

淬火，用于弧齿锥齿轮的淬火冷却，可大幅度减小齿轮及螺旋角的变形量，传动装置的噪声也因此而降低。实际上，淬火油的温度对其冷却特性的影响并不是很大，也就是说，油类介质对温度的敏感性并不像水或水溶性介质那样大，但由于淬火油的粘度随温度变化很大，热油的良好流动性使工件冷却更均匀，因此国内齿轮生产厂家采用热油淬火已经相当普遍，在我们接触的用户中，有的将淬火油温度控制在130～150℃范围，淬火质量最好，而且为了维持较高油温，减少加热能耗，特意在淬火槽外围加装保温层。

但是这种高温油淬火，也有一定的副作用，首先是油的蒸发量增大，使生产环境恶化，其次是油的老化也因此而加快。因此，根据淬火油的品种和闪点，一般比较适宜的淬火油温度为80～100℃范围。

对于大批量、连续性淬火生产来讲，冷却系统更为常用。对于水溶性介质，由于其逆溶点（热分离现象）的限制，其使用温度一般控制在55℃以下，因此必须配有强力冷却系统（尽管如此，大批量淬火生产中也极少采用水溶性淬火介质）。油类介质也是如此，以保证油温稳定在理想范围内。

比较原始的冷却方法有蛇形水管冷却、夹层式水冷以及外置循环油池，但冷却效率较低，而且不均匀。目前比较认同的是换热器方法，换热器的选用原则是换热效率高，结构紧凑，便于安装拆卸。

换热器工作时一般是用水与淬火油进行热交换，冷却系统由油路和水路组成（也可以考虑采用风冷方式）。我国是水资源缺乏国家，因此不宜采用自来水或地下水一次性冷却，而应该采用循环水。循环水池容积和水泵流量主要根据淬火量和淬火间隔而定，例如，对于匹配四台90kW井式渗碳炉，容量为10t的淬火油槽来说，水池容积取20～30m^3即可。淬火油的冷却速度（冷却效果）与两种介质温差、冷却水流量以及换热器换热系数等诸多因素有关。一般冷却系统应保证每次淬火后的油温在30min内复原。

三、若干尚待解决的问题

1. 油类介质的燃烧问题

与井式或箱式周期加热炉配套的淬火油槽，淬火操作是在大气环境下完成的，淬火油燃烧难以避免，只是着火时间和大小不同而已。着火大小的关键不在于淬火工件的重量，而主要与工件形状、表面积和装夹方式有关，某些空心件、齿轮件或者密集装筐的小件，淬火时往往比更重的实心件、调质件燃烧还严重。淬火时燃烧不仅使介质烧损，而且有火灾危险。

除了增加搅拌功能外，还有两种途经可以减轻（但不能消除）淬火油燃烧，一是适当加快淬火件入油速度，二是开发、选用更高燃点的淬火油。

2. 淬火油烟问题

通过某些装置以及排烟管道虽然可以将大部分油烟排至车间以外，改善了车间内部的生产环境，但并未根除对大气环境的污染。现在看来，淬火油烟的收集是关键，由于淬火操作的短促性与开放性，要做到淬火油烟的完全收集确实很难。另外，如何保证收集油烟时不使明火也伴随进入净化装置而使之烧毁，也是一大难点。

3. 淬火油沉积物的清理

淬火油经过长时间使用，淬火槽底部会沉积一些杂物，渗碳淬火时一般是由于工件炭黑和介质燃烧而形成的油泥，调质淬火则有可能存在大量氧化皮，此外还有坠落的工件等。

目前还没有更好的清理办法，比较原始的措施是首先把淬火油置换到另一槽内，然后进行人工清理。而究竟是一年，还是两年，或三年清理一次，则要看淬火件产量而定。

4. 淬火油的净化、再生与淘汰

经过长期使用的淬火油，其冷却特性会有不同程度的退化，也有可能混有一定的水分，建议使用介质性能检测仪每隔一两年进行一次检测，然后针对不同的情况进行改造，或加入相关的添加剂，或采用专用滤油机进行过滤、脱水和净化。建议淬火介质生产厂家提供这种检测、咨询服务。

淬火介质总有一个寿命问题，特别是在那些大批量、连续性生产的场合。很多中小企业或由于资金限制，或由于缺乏检测手段，几年甚至十几年一贯制，只管使用下去。某些掺入大量水分的淬火油槽，也是采用边生产、边蒸发的方法，继续使用。在这种情况下，就很难保证淬火件质量不出问题。因此，对于那些冷却性能严重退化，影响工件质量的淬火介质，能改造的则改造，不能改造的要下决心淘汰，切不可因小失大。（20030928）