

中碳钢调质热处理工艺

陈志文¹, 潘国强², 庞博文¹, 赵步青³

1. 陆军装备部防化军代局 北京 100083

2. 武警装备部军代局 北京 100860

3. 安徽嘉龙锋钢刀具有限公司 安徽马鞍山 243131

摘要: 从对调质钢的基本性能要求入手, 列举常用钢及高速钢的调质工艺, 分析影响调质质量的诸多因素。指出调质并非易事, 必须重视。

关键词: 淬火; 高温回火; 组织; 性能

1 序言

中碳钢和中碳合金结构钢淬火后再施以500~650℃的高温回火的热处理工艺叫调质。调质处理大多在毛坯或粗加工后进行, 也可以作为预备热处理或最终工序, 调质后得到的组织应该是回火索氏体, 而不是杂乱的混合组织。与正火相比, 在硬度和抗拉强度相同的条件下, 调质提高了钢材屈服强度, 其中塑性和韧性提高尤为明显。

调质件适用于较大动荷载, 尤其是复合应力(拉伸、压缩、弯曲、扭转、冲击、疲劳)下工作的零部件, 强烈要求强度与韧性的良好匹配、较小的脆性断裂倾向和较大的承载力。有些钢件在调质后还要有较高的耐磨性、耐蚀性、抗咬合性能等, 在精磨后再进行适当的化学热处理即可。

2 对调质钢基本性能的要求

2.1 足够的淬透性

淬透性是指淬火后在钢的截面上获得马氏体组织的能力, 淬火后的钢, 不仅在表面而且在一定深度内也不同程度地被硬化。而硬化深度因钢而异, 人们习惯把硬化层深度叫淬透性, 也有人认为淬透性取决于钢中过冷奥氏体的稳定性、钢材的实际尺寸及所用的淬火冷却介质, 可根据钢的等温转变曲线评价其淬透性的高低, 也可以根据淬火时的临界冷却速度或者以圆棒在某种介质中冷却时心部获得100%马氏体时最大直径来衡量淬透性高低。但目前

使用最广的评定淬透性的方法是以试样心部获得半马氏体组织, 即50%马氏体+50%屈氏体作为标准。在选材和进行调质操作时, 一定要关注钢的临界淬火直径、加热炉及淬火冷却介质, 确保调质钢有足够的淬透性。

2.2 高的综合力学性能

实践中我们体会到, 钢中加入Cr等合金元素之后, 提高了淬透性, 使较大截面的工件可能进行整体淬火或回火, 得到理想的淬火组织, 从而有可能利用调质来改善钢的综合力学性能。

图1为一组中碳合金结构钢经完全淬透后, 做拉伸试验测定的结果。钢的化学成分为: $w_C=0.25\% \sim 0.50\%$ 、 $w_{Mn}=0.30\% \sim 1.65\%$ 、 $w_{Ni}=0 \sim 3.75\%$ 、 $w_{Cr}=0 \sim 1.25\%$ 、 $w_{Mo}=0 \sim 0.40\%$ 、 $w_V=0 \sim 0.15\%$ 。

由图1可以看出, 疲劳极限与硬度之间的关系有较大的规律性, 从回火结构钢力学性能的观点出发, 我们在选择钢材时就应采用淬火-回火后的硬度值作为指标。但是根据实践经验, 要求淬火-回火后得到一定的硬度值时, 为了保证获得较高的综合力学性能, 钢材淬火后的硬度, 不得低于某一允许值。例如, 要求调质至30~35HRC, 就应当选择淬火后硬度不太高的40CrMnMo钢, 也可以根据淬透性选择钢材, 如图2所示^[1]。确定钢件哪些力学性能指标最重要, 有针对性地选择材料, 保证工件能调质到满足工艺设计的较高的综合力学性能。

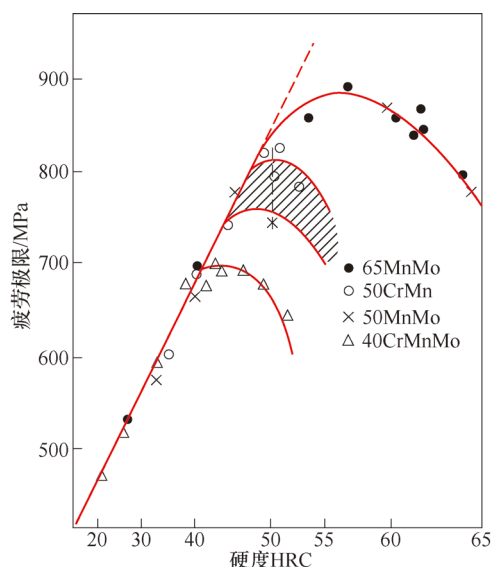


图1 一组中碳合金结构钢的疲劳极限和硬度的关系

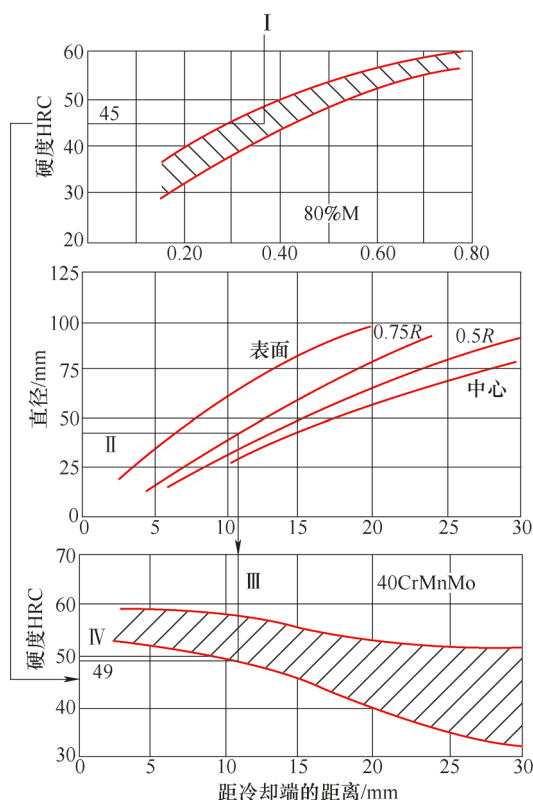


图2 根据淬透性选择钢材

2.3 良好的加工性能

所有钢的切削加工性能均与其力学性能、金相组织、化学成分有关。首先，在力学性能方面，若调质件的硬度及强度高，则会造成刀具磨损大，降低切削效率，生产成本上升；反之，硬度太低，塑性韧性增大，切屑不易断开，粘刀易结瘤，被加工件表面质量差，一般调质件的硬度在

220~250HBW，切削加工较好。其次，在硬度相同时，由于成分和组织不同，加工形式不同，所以切削加工性也有较大差异。

3 常用钢的调质工艺

常用调质钢的热处理工艺见表1。

表1 常用钢调质热处理工艺 (°C)

钢号	淬火		回火	
	加热温度	淬火冷却介质	加热温度	回火冷却介质
40	840~860	水	580~640	水、空
45	830~850	水	550~600	水、空
50	820~840	水	560~620	水、空
40Cr	840~860	油	600~650	油、水
35SiMn	850~870	油	620~660	油、水
30CrMnSi	860~880	油	530~560	油、水
42SiMn2	840~860	油	620~660	油、水
35CrMo	870~890	油	570~590	油、水
40MnB	840~860	油	510~520	油、水
40MnVB	840~860	油	500~520	油、水
45MnB	840~860	油	580~630	油、水
40CrNiMo	850~870	油	580~620	油、水
40CrMnMoVBA	850~870	油	640~680	油、水
38CrMoA1A	930~950	油	630~650	水
50Mn2	820~840	油	500~560	水
3Cr13	1020~1050	油	650~680	水

调质处理可以作为预备热处理，例如，合金钢制作的工具在粗加工后进行调质，以改善精加工后工件表面的粗糙度，并可减少最终淬火件的畸变；表面淬火或某些化学热处理前往往要进行调质（如渗氮、低温的碳氮共渗前）。

4 高速钢的调质工艺

为了改善齿轮刀具铲削加工后的表面粗糙度（要求 $R_a \leq 2.5\mu m$ ），则要对粗加工后、精加工前的刀具改造，细化其退火索氏体和碳化物。这种处理

实质是进行另一次重结晶退火，不过目的不是降低硬度，而是要稍微提高硬度，细化索氏体碳化物，减少淬火畸变，或改善钢淬火、回火后的性能。常用的方法有两大类：一是低温调质处理；二是等温处理，工厂又称“毛淬火”。

“调质”一词借用了对结构钢相似的热处理工艺名词，但本文所述的调质与其有着完全不同的目的，通过重新加热到接近或超过 A_{c1} 以上的温度，使原来的索氏体碳化物绝大多数溶入奥氏体中，再以适当的回火温度调节索氏体碳化物的粒度，而且改善其均匀性，所得的组织是否有利于切削加工，可通过硬度判定和切削试验确定。目前，工具厂常用的高速钢调质工艺为：880~900℃加热，油淬，680~700℃回火。根据国内多数工厂的经验，调质后的硬度应控制在：M2钢38~42HRC，W18钢35~39HRC，如是HSS-E钢系，调质的硬度还会稍高1~2HRC。

5 影响调质钢力学性能的因素

对调质钢力学性能要求有六大指标：硬度、抗拉强度、屈服强度、伸长率、断面收缩率和冲击韧度。

(1) 分炉号淬火 不少工厂在生产中经常发现同一牌号、同规格材料制造同一规格品种的产品，用相同工艺热处理，最终检查有的合格，有的不合格，究其原因混炉号淬火，例如，45钢的 w_C 为0.42%~0.50%，若是0.42%和0.50%的钢混在一起淬火，性能相差甚远。因此，一定要分炉号科学管理。

(2) 钢中的杂质元素对 α_K 值的影响 从许多失效分析案例可知，有害杂质元素超标会对钢的各项性能有损害，有些杂质元素虽未超标，但对钢的 α_K 值影响极大。某公司用40Cr钢制造高强度螺栓，当钢中的 $w_P \geq 0.02\%$ （国标 $\leq 0.035\%$ ）， α_K 值由100J/cm²下降到50J/cm²左右。

(3) 原材料组织缺陷对力学性能的影响 化学成分严重偏析、粗大的晶粒以及块状网状组织都将有损于钢的力学性能，应设法避免。

(4) 加热温度和淬火冷却介质对力学性能的影响 当选用的合成淬火冷却介质冷却速度很快时，应选择较低的淬火加热温度；反之，选用高者。选用

的基本原则，在 M_s 点以上快冷，避免过冷奥氏体析出第二相；在 M_s 以下缓冷，降低应力变形，从而经高温回火后得到较理想的综合力学性能。

(5) 高温回火温度和冷却规范对力学性能的影响 碳素结构钢淬火后的硬度应 $\geq 45HRC$ ，合金结构钢淬火后硬度应 $\geq 50HRC$ ，回火温度大多在500~650℃，为防止第二类回火脆性的产生，回火出炉后应快冷。

(6) 实际操作水平对力学性能的影响 人是生产力中最活跃的也是最重要的因素，由于热处理每一步操作都是靠人去完成的，所以调质的每一个细节都要做到位，才能调出高水平。比如，淬火水槽如果温度超过35℃或循环冷却不好，淬火后硬度不均匀，力学性能也不会高。

(7) 选材与取样对力学性能的影响 现场笔者看到不少调质钢选材不妥，取样也无代表性，这样的调质件肯定低档次。

(8) 索氏体与屈氏体对力学性能的影响 索氏体结构致密，具有最优良的力学性能，调质的目的就是获得此组织。屈氏体也是铁素体和渗碳体的弥散混合物，但力学性能远不如前者，后者强韧性低、脆性大。钢件的调质处理，不仅要力学性能合格，而且要金相组织也合格，一般不可以在500℃以下回火。

(9) 淬火软点对调质钢力学性能的影响 淬火有软点将导致力学性能下降，成为疲劳裂纹源和早期磨损的中心，因此对调质件要认真对待，不能马虎。

6 结束语

调质虽是很普通的热处理，但做的好的单位并不多。要想把调质搞好，必须认真研究调质钢的特性，关注影响调质质量的各种因素，做好每一个细节。世上无难事，只怕有心人。

参考文献：

[1] 崔崑.钢的成分、组织与性能（上册）[M].北京：科学出版社，2013.

MW 20210702