

# 锻造余热淬火工艺的应用前景

## Application Prospects of Forging Remaining Heat Quenching

吴元徽

(南京工业职业技术学院 机械系, 江苏 南京 210046)

**摘要:** 论述了锻热淬火工艺的强化机理, 介绍了确定不同类型钢件锻热淬火工艺参数的方法, 并对其优点和经济效益进行了分析, 指出锻热淬火可获得良好的金相组织和综合力学性能。

**关键词:** 锻热淬火; 调质; 节能

中图分类号: TG156.3

文献标识码: B

文章编号: 1001-3814(2010)18-0195-02

锻件的常规热处理大多是在锻件冷却到室温后, 再按工艺规程将其重新加热进行的热处理。而锻造余热淬火是锻造后利用锻件自身的热量直接淬火, 使锻件的余热得到充分利用。研究表明, 与普通热处理相比, 钢件经锻造余热淬火后可大幅度提高力学性能, 如硬度提高 10%, 抗拉强度提高 3%~10%, 伸长率提高 10%~40%, 冲击韧度提高 20%~30%。此外, 经锻造余热淬火后, 钢材具有很高的回火抗力, 强化效果可保持到 600℃ 以上。本文对目前生产上应用最广的锻造余热淬火工艺进行分析。

### 1 锻造余热淬火的特点

锻造余热淬火的加热温度较高, 一般为 1050~1250℃, 由于锻件余热的利用, 免去了热处理(正火和调质)的奥氏体化重新加热过程, 是一项很重要的热处理节能措施, 故在连杆、曲轴、凸轮轴、齿坯等汽车零件上得到广泛应用。

图 1 是锻造余热淬火工艺示意图。锻造余热淬

火不能简单地看成是高温形变淬火, 因为一般情况下, 虽然锻造余热淬火工件的始锻温度比较高, 但终锻温度却会有很大的差异, 温度较高时再结晶比较容易进行, 而温度较低的再结晶速度就会很慢。此外在锻造成形后还需要切边和整形, 这使得锻件必须在高温处停留相当的时间才能进行淬火。因此, 锻件在停留过程中所发生的再结晶程度也不尽相同, 这样在淬火时, 锻件有可能仍保留一定的形变强化效应, 也可能因再结晶程度比较彻底而使形变强化效应消失殆尽。这两种情况都属于锻造余热淬火, 但显然后者不能认为是形变热处理范畴。

锻造余热淬火除了能简化工艺及提高性能外, 还具有以下特点:

(1) 节约能源: 锻造余热淬火由于省去了原调质工艺中的锻后正火以及调质淬火两道加热工序, 能显著节约能源。在此, 仅以电加热为例, 由于省略了调质淬火加热工序, 每吨锻件可节约电 400 kW·h。一般调质件在调质淬火前往往还需要进行一次正火, 若将省略正火加热工序也考虑进去, 则每吨锻件应可节电 850 kW·h。

(2) 另外采用锻造余热淬火工艺时, 锻坯的加热一般采用连续加热炉, 与锻造车间通常采用的周期式炉相比, 热效率要高, 燃料消耗低。

(3) 节约钢材: 锻造余热淬火在保证足够塑性的前提下可以提高钢材的强度, 从而减轻零件的质量、节约钢材。如美国福特汽车公司生产的汽车板簧, 改用锻造余热淬火生产后, 由原来的 14 片(77 kg)减至 7 片(52 kg), 节约钢材 32%。另外由于锻造余热淬火可以显著提高钢的淬透性, 故原采用水淬的, 可改用油淬; 原采用合金结构钢的可改用普通碳素结构钢, 这样还可节省昂贵的合金元素, 降低原材料的成本。

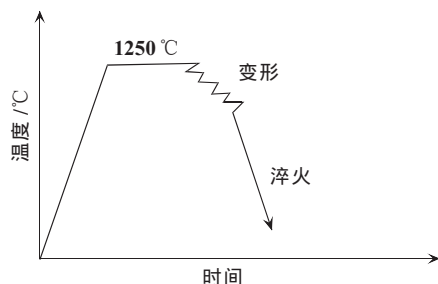


图 1 锻造余热淬火工艺曲线  
Fig.1 Process curve of forging heat quenching

收稿日期: 2010-03-09

作者简介: 吴元徽(1963-), 男, 安徽歙县人, 副教授, 高级工程师, 主要从事金属材料及热处理研究; 电话: 13913915657;

E-mail: wuyh@niit.edu.cn

(4) 缩短生产周期:以 135 柴油机 40Cr 钢连杆为例,原工艺为:下料→油炉加热→热模锻→空冷→正火→清理→调质→强化抛丸→机械加工→成品,改为锻造余热淬火后的工艺为:下料→中频穿透加热→热模锻→锻造余热淬火→高温回火→强化抛丸→机械加工→成品。由于简化了工序,省去了原工艺中的正火及调质,故可显著节约工时。过去一般从投料经锻造、热处理到入库需 3~6 天,采用锻造余热淬火后可减少到 1~2 天,生产效率提高了 3 倍,大大缩短了生产周期。

(5) 便于机械加工:形变热处理在生产上不易推广的一个重要原因是在提高零件强度与硬度的同时还会改变其形状,由于锻轧成形不能保证零件的几何精度,故在形变热处理后还需进行机械加工,但强度与硬度的提高为其后续进行的机械加工增加了许多困难。但是,用锻造余热淬火及随后的高温

回火来代替原来的调质工艺却不存在这方面的缺点。因为高温回火后的强度与硬度并不高,不难进行机械加工,故锻造余热淬火是较易推广的一种形变热处理工艺,并在生产上得到了广泛的应用。

## 2 锻造余热淬火

### 2.1 亚共析钢锻造余热淬火工艺及应用

重要的机械零件,其含碳量大多是属于亚共析钢范畴。这类零件的原加工路线是:锻造成形→正火→高温回火→粗加工→调质→精加工。现在利用锻造成形后的余热进行淬火,然后再高温回火,来取代原来的正火、高温回火、调质。新的加工路线调整为:锻造成形→余热淬火→高温回火→粗加工→精加工。

表 1 是从生产实际中采集的不同钢号的机械零件,经锻造余热淬火后的力学性能与普通淬火后的力学性能的比较。

表 1 几种零件锻造余热淬火与普通淬火力学性能的比较

Tab.1 Comparison of mechanical properties between forging remaining heat quenching and normal quenching for several parts

零件名称	材料	工艺规程	$\sigma_b$ / MPa	$\psi$ (%)	$\alpha_K$ / (J·cm <sup>-2</sup> )	硬度 (HRC)
拖拉机接盘	45	1100℃锻造成形,停留 30s,水淬,560℃保温,1.5h 回火	880	47	58	27
		普通淬火,840℃水淬,560℃保温,1.5h 回火	790	43	56	26
135 柴油机连杆	40Cr	1180℃锻造成形,停留 30s,油淬,670℃保温,1.5h 回火	830	68	175	25
		900℃正火,850℃油淬,620℃保温,1.5h 回火	770	66	160	22
拖拉机吊钩	45Cr	1200℃锻造成形,停留 30s,水淬,580℃保温,1.5h 回火	1130	37	88	36
		850℃油淬,600℃保温,1.5h 回火	1000	45	57	22
履带链板	40Mn	1200℃锻造成形,停留 30s,油淬,600℃保温,1.5h 回火	870	$\delta=20$	89	28
		830℃水淬,600℃保温,1.5h 回火	800	$\delta=21$	85	24
高强螺母	20CrMn	1200℃锻造成形,停留 30s,油淬,600℃保温,2h 回火	870	74	-	22
		880℃正火,880℃油淬,600℃保温,2h 回火	730	73	-	17

锻造余热淬火工艺参数对其强化效果有很大影响,其中尤以锻造温度和锻造后淬火前的停留时间影响最大。锻造加热温度较低时,淬火后获得的冲击韧度较高,所以从获得最佳强韧化效果出发,希望锻造温度不宜过高,对于中碳低合金结构钢,锻造加热温度应控制在 1220℃内,以避免工艺过程中奥氏体的后续动态再结晶的发生。锻造后淬火前的停留时间,是现场作业的重要工艺参数,随停留时间的延长,钢的硬度、强度和冲击韧度同时降低,所以,锻后应立即淬火。如操作上确有困难,对碳钢可有 3~5s 的停留,合金钢停留时间可稍长。一般认为,终锻后至淬火前的停留时间不应超过 60s。另外,形变量对提高锻造余热淬火的硬度、强度是有利的,

形变量越大,强化效果越好,对多元低合金钢尤其是这样。

### 2.2 过共析钢锻造余热淬火工艺及应用

冷作模具、刀具用钢等都属于过共析钢,它们的原加工路线是:锻造成形→球化退火→粗加工→淬火→低温回火→精加工。球化退火一般约需 20h,要耗费大量电能,而且所得到的球状碳化物较大,其平均直径在 1μm 以上。

试验证明,利用锻造余热淬火+高温回火,获得的碳化物颗粒较小,其平均直径在 0.3μm 左右,而且高度弥散分布。众所周知,碳化物的粒度及其分布状态是影响刀(模)具耐磨性的主要因素之一,锻造余热淬火显著提高了刀(模)具的(下转第 199 页)

双电源供电,一路电源中断时,立即启用备用电源。

### 2.5.2 加热器故障

如果故障时处于升温阶段则应加强保温,控制冷却速度,缓冷至 300℃ 以下后,拆开保温,处理故障点或更换加热器,然后重新进行热处理。

如果故障时处于降温过程中,则重点加强保温,尽量控制冷却速度在规定的范围内,等冷至室温时测定接头的硬度值,判定是否需要重新热处理。

如果故障时处于恒温过程中,则要根据恒温的时间长短,结合工艺试验数据,判断是否需要重新热处理。也可在累加原恒温时间的基础上再进行适当的延长。

### 2.5.3 测温系统失灵时

测温系统失灵时,由于没有温度反馈,会造成温度失控,酿成事故,因此,应先停止加热,处理故障。如果有备用测温点时,更换测温点继续进行工作;如果没有备用测温点,则要根据不同的工作阶段采取不同的措施。

故障处于升温或恒温阶段,则应立即停止加热,防止温度失控造成热处事故;然后加强保温,控制降温速度,缓冷至 300℃ 以下后,拆开保温,更换热电偶,然后重新进行热处理。

故障处于恒温即将结束或降温过程中时,则应立即停止加热,重点加强保温,尽量控制冷却速度在规定的范围内,等冷至室温时测定接头的硬度值,判定是否需要重新热处理。

### 2.5.4 功率太小无法达到最高温度时

由于对工件的散热估计不足,选择加热功率过小,导致产热无法满足最高温度下的散热。此时温度会达不到焊接热处理的最高温度。此时,需要针对具体的温度值,判定是需要延长时间来保证质量,还是保温缓冷后重新进行热处理。对于超超临界机组用材管道,其合金含量高,对焊后热处理最高温度要求较高,温度低于规定的范围无论延长多少时间也不会达到热处理质量要求。此时只能采用保温缓冷后重新进行热处理。

## 3 建议

(1) 根据选用钢种的特点,选择合适的加热方式、热处理参数,注意特种焊接接头的热处理方式及参数的选择,以保证整个焊接接头的热处理质量。

(2) 焊件厚度大于 70 mm 以上时,不能用 40 mm 厚度对应的工艺参数,应进行焊接工艺评定确定最高焊接热处理温度下的保温时间。☒

(上接第 196 页)耐磨性,从而提高了其使用寿命。另外高温回火后的硬度只比球化退火的略高一点,对机加工影响不大,因此锻造余热淬火+高温回火可取代球化退火作为预备热处理,这样还可节省电能、工时,大大提高设备利用率。

新的加工路线是:锻造成形→余热淬火→高温回火→粗加工→淬火→低温回火→精加工。

表 2 为几种常用工具钢锻后余热淬火+高温回火后的硬度值与球化退火后硬度值的比较。

## 3 结语

采用锻造余热淬火工艺后,在提高产品质量的前提下,减少了传统淬火工艺中的一次加热过程,节约了大量的能源消耗。由于便于实现流水线生产,不仅使生产周期大大缩短,生产效率得到显著提高,而且大幅度减轻了工人的劳动强度,同时获得了显著的经济效益。生产实践表明,这项技术极具推

表 2 锻造余热处理与球化退火的硬度比较

Tab.2 Hardness comparison between forging remaining heat treatment and spheroidizing annealing

材料	热处理工艺	硬度(HV)
T8	终锻温度 850℃,水淬,680℃保温 1h 回火	217
	球化退火	162
T10	终锻温度 850℃,水淬,680℃保温 1h 回火	229
	球化退火	182
9CrSi	终锻温度 880℃,油淬,720℃保温 1h 回火	271
	球化退火	234
GCr15	终锻温度 900℃,淬沸水,720℃保温 1h 回火	234
	球化退火	197

广价值。

锻造余热淬火既适于少批量生产,又适于大批量生产,所以对各种需锻热的零件应进行性能研究、检测及验证。随着锻造余热淬火工艺的采用与其相适应的材料成分的变更,如何重新布置或改造锻热生产流程等问题均须进一步探讨。☒