

锻造余热热处理技术应用探讨

宋 雯

(中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司, 辽宁 沈阳 110043)

摘 要 为探讨锻造余热热处理技术应用, 本文采用理论结合实践的方法, 立足锻造余热处理的必要性, 分析了常用的锻造余热热处理技术, 并提出相应的应用要点。分析结果表明, 在锻造加工生产中会释放出大量余热, 若能够对余热进行利用, 可有效节约锻造能耗, 降低生产成本, 而且对保护环境也有重要意义。余热淬火、余热退火、余热等温正火是常见的锻造余热热处理技术, 每种余热热处理技术都有其的应用范围和特点, 在实际应用中需要结合锻造余热的特点, 选择合适的热处理技术才能提升锻造余热利用率。

关键词 锻造余热; 热处理; 淬火; 退火; 等温正火

中图分类号: TG156

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)02-0035-03

锻造行业是能耗大户, 合理的热处理技术可避免锻造余热浪费, 此外, 锻造构件通过热处理后还能提升产品质量, 改善性能, 延长使用寿命, 是最直接、最有效的锻造节能方式。但热处理自身能耗比较高, 锻造构件降低到室温后再进行加热处理, 会造成大量余热浪费, 而且会对周围的环境造成影响。只有将锻造工艺和热处理结合到一起, 锻造构件成形后, 及时利用锻造余热进行处理, 可省去再加热环节, 既能提升锻造构件的性能, 还能避免锻造余热浪费, 一举多得。

1 锻造余热热处理的必要性

锻造加工中需要消耗大量能源, 而锻件的热处理占据了整个锻件生产能耗的 30%~35%, 国内每吨锻件的综合能耗为 1.2t~1.5t 标煤, 每吨模锻件的能耗为 0.8t~1.2t 标煤。和国外工业发达国家相比, 仍有很大的差距, 例如工业发达国家的综合能耗为 0.7t~0.8t 标煤, 尤其是日本每吨锻件的综合能耗只有 0.515t 标煤。锻件消耗占锻件总成本的 8%~12%。锻造余热热处理既可以减少锻件的成本, 也可以增加企业的经济效益, 而能源问题同样关系到一个国家的可持续发展。就目前我国热处理工艺而言, 能耗非常高, 具有很大的节能潜力, 但也有一定数量的三废排放, 对环境造成了严重的污染。因此, 对锻造余热热处理技术的分析研究, 既有助于节约能源, 降低生产成本, 也有利于保护生态环境, 值得高度重视。

2 常用的锻造余热热处理技术

常用的锻造余热热处理技术有三种, 包括余热淬火、余热退火、余热等温正火, 每种锻造余热热处理

技术都有其独特的特点, 具体如下。

2.1 余热淬火

余热淬火热处理技术是当锻件成形之后, 若温度和高于 Ar_3 , 淬入合适的淬火介质中, 可获得马氏体。锻造加工的构件利用锻造余热进行淬火, 既能获得良好的机械性能, 也可以节约能源, 缩短锻造构件的生产周期, 节约生产成本。锻件经过锻造余热淬火并高温回火后, 其强度要明显提升, 塑性和韧性要略低于普通调质。若回火的温度高于普通调质回火温度 $40^{\circ}C \sim 80^{\circ}C$, 其塑性和韧性会得到明显改善, 可很好地改善锻造材料的切削加工性能。比如: 某锻造生产企业以生产微型车曲轴锻件为主, 锻件材料为 40CrH, 热处理技术的要求为: 锻件经过调质处理后, 金相组织要介于 1~4 级之间, 硬度要介于 241HBW~285HBW 之间。常规调质工艺为当锻件加工完成, 冷却都室温后, 再加热到 $850^{\circ}C$, 保温一段时间, 淬入浓度为 10% 的 PAG 淬火剂中进行淬火, 淬火完成后进行回火, 整个调质过程在连续式调质线上完成。

锻造余热淬火工艺为当锻件加工成形后, 直接淬入淬火油中进行淬火, 淬火完成后锻件在连续式回火炉中集中进行回火。此种淬火工艺省去了锻件冷却到室温, 又加热的环节, 而且淬火好的各项性能也不低于常规淬火, 而且可以节约淬火加热用电至少 $259kWh/t$, 简化了淬火工艺, 也缩短了锻件生产加工周期。

2.2 余热退火

锻件的余热退火是在锻件成型后, 温度在 Ar_3 以上 (对于亚共析钢) 的情况下, 进入退火炉中控制冷

却,以获得正火的组织。由于锻造加热温度高,因此,该工艺处理后的锻件晶粒变得粗糙,通常被用来进行预热处理,而不适合需要高晶粒度的锻件。经处理后的组织为珠光体+铁素体的均衡结构,经热处理后的粗晶粒没有组织遗传,可以再细化^[1]。比如:某锻件材料,热处理要求为退火,要求退火热处理后,其硬度在163HBW~269HBW之间,最终的热处理工艺为调质热处理,退火的主要作用是降低锻件的硬度,方便后期加工,并获得较为均匀的金相组织,为调质处理做准备。

锻造余热退火是将锻件放入保温箱内,保温一段时间,然后再将其取出,可以获得不含贝氏体和其他不规则组织的珠光体+铁素体组织。而且组织中没有严重的魏氏组织,其硬度接近于正火,不会影响到锻件后期的粗加工。

结果表明,由于各零件的变形程度差异,造成了大尺寸的晶粒粗大,而采用余热退火工艺的锻件比正火工艺的晶粒度要大。另外,通过锻造余热退火处理后能够获得珠光体+铁素体的均匀结构,不存在遗传性,经过调质处理后,可以对其进行再加工^[2]。经过精整和调质处理,其切削性能、调质处理后的金相和力学性能均与使用前处理时基本一致,正常使用后没有任何不良反应。锻件锻造余热退火工艺可完全利用锻造余热,不需要再对锻件进行二次加热,可以节省大量的电力,缩短热处理炉的运行时间,降低人力成本和设备维护成本。

2.3 余热等温正火

锻件的余热等温正火是指在锻件成型后,在温度大于Ar₃(亚共析钢)的情况下迅速冷却,然后在一定的时间内进行保温,然后再将其空冷到室温。锻件成型后的温度在900℃~1000℃之间,急冷速率在30℃~42℃/分钟,等温温度在550℃~680℃之间。急冷是此项技术中的重要环节,它可以通过调整冷却风量、风速、风温和风向来实现冷却后的温度均匀。等温温度取决于材质和所需的硬度,通常选择在珠光体过渡曲线的鼻端,以缩短等温保温时间。锻造余热等温正火主要应用于碳化的齿轮钢,如SCM420H, SCM822H, SAE8620H, 20CrMnTiH等。

比如:某轿车变速箱齿轮锻件,采用了20MnCr5JV和27MnCr5JV材料,要求锻件锻造完成后进行等温正火处理,以得到铁素体+珠光体,不能存在粒状的贝

氏体。并且晶粒度需要在6~9级之间。在实际生产中为降低能耗,节约成本,满足锻件加工要求,利用部分锻造余热对其进行等温正火处理。在锻件成型后,经输送带送入加热炉中,在此期间,将锻件的温度降到550℃~600℃,再用加热炉将其加热到900℃~920℃,保温后再送入速冷室进行快速冷却。在快速冷却后,锻件的温度在600℃以下,在580℃~600℃的等温条件下,等温1小时,再进行空冷。经此处理后,铸件的金相组织为铁素体+珠光体,不存在颗粒状贝氏体^[3]。具有合适的硬度和较好的切削性能,经热处理后的齿轮变形达到了技术指标。与传统等温正火比较,局部锻造后的余热等温正火可以节省大量的高温加热工序,节约电力150kWh/t。

3 锻造余热热处理技术应用时需要注意的问题

3.1 锻造余热淬火处理需要注意的问题

加热、保温、冷却、回火是锻造余热淬火热处理技术应用需要高度重视的问题,任何一个细节把控不当,都会影响锻件淬火的质量。锻件在加热过程中,如果温度不一致,则锻造余热淬火处理后的产品硬度会出现很大的变化,从而导致产品的品质不稳定。在普通的室内炉中,若放置了大量叶片加热,会出现这样的情况。为解决这一问题,可采转底电阻加热炉,确保了每一片的加热温度和保温时间都是相同的,因此,在经过锻造余热淬火后,每个叶片的性能都是稳定的、一致的。

冷却:形变热处理能改善锻造构件的淬火性能。原来用水淬油冷的材料,可直接用油淬,比如45*和40Cr的曲轴连杆。以前用油淬火的材料可进行空淬。比如1Cr13、2Cr13,经过高温淬火后,可以在空中淬火,但在冷却之前,必须要达到淬火的条件。若堆叠在一起,则各层叶片的冷却状况也不尽相同,如位于中央的一层,会由于退火而导致碳化物沉淀,导致晶粒变大、强度降低、冲击韧性降低,故应注意确保冷却的要求和条件符合锻造余热淬火工艺的标准及规范。

回火温度:回火温度由锻件的使用要求和技术条件来确定,精锻压气机片多为1Cr13或者是2Cr13材质,需要在调质条件下进行,因此,进行锻造余热淬火之后,应立即进行高温回火。回火温度略高于常规调质处理,有利于提高力学性能和切削性能。通常情况回火温度要低于455℃或者是高于540℃^[4]。若在

550℃~600℃之间的温度下回火,会析出大量弥散度比较高的碳化物,导致锻造构件的抗腐蚀性能下降,冲击性能也有所下降。只有在 600℃以上的回火温度才能很容易地实现合金元素的扩散,提升锻造构件的抗腐蚀性能。

3.2 锻造余热退火处理需要注意的问题

当锻造构件形成之后,可采用合适的冷却速度,将锻件温度降低到合适的温度,放置到保温箱中进行退化处理,以取代正火工序。比如:某锻造构件的材料为 40CrH,原工艺为在冷却到室温的锻件重新加热到 860℃进行正火处理,锻造余热退火是锻造后锻件直接放入保温箱中,持续保温一段时间后再取出。锻造构件要求在正火热处理后在大头轴径位置检查布氏硬度。为验证锻造余热退火后构件不同部位的硬度,需要对构件的大头轴径、小头轴径、连杆轴径等部位都进行布氏硬度检测。通过改变锻件进入保温箱的温度和保温时间,可选择热校正处理后,直径放置到保温箱中进行保温。此种退火处理方法在保温箱中会停留较长时间,金相组织中也没有明显的魏氏组织,这是因为锻件装箱过程中会出现降温现象,导致锻件在高温状态下停留的时间比较短,一般情况下,锻件装入保温箱中后其温度就已经降低到 700℃以下。锻件不同位置退火热处理后,其变形量也不相同,锻件截面厚度不同,在冷却时冷却速度也不相同,会导致不同截面的晶粒粗细出现较大差异。截面大的部位晶粒比较粗。采用锻造余热退火处理后锻件晶粒度要比常规正火处理的晶粒大,有利于后期切削和精加工处理。此外,通过锻造余热退后处理后的锻件能够得到珠光体+铁素体的平衡组织,可满足多种条件下使用的要求。

3.3 锻造余热等温正火处理需要注意的问题

在进行锻造余热等温正火处理过程中需要注意的问题主要有以下几个方面:

3.3.1 锻件的温度控制

锻件成型后,其温度应高于 A_{r3} (亚共析钢),锻件的温度在锻压后达到稳定状态时,可直接进行快速冷却;锻件在锻件温度波动大或横断面变化大的情况下,应在急冷之前将各部件的温度保持一致,以免出现急冷后的锻件或不同断面的温度有很大的差异,从而出现贝氏体和马氏体等异常组织。

3.3.2 冷却速度的控制

在急冷工艺中,需要对锻件进行迅速的冷却,而

在冷却后,相同的锻件和同批的锻件的温度是均匀的(或类似的)。同时,必须控制快速冷却的速率,快速冷却会使锻件内部出现魏氏结构。急冷的温度一般为 30℃~42℃/分钟。

3.3.3 快速冷却后的温度控制

在快速冷却后,应确保锻件的温度处于珠光体过渡区域,而不能低于贝氏体的起始温度,否则会产生贝氏体。如果快速冷却后的温度升高,则会使先析铁素的体积增加,而组织转化后的晶粒之间的间隔较大,从而降低了工件的硬度。锻件的急冷后温度通常控制在 80℃~100℃之间。

3.3.4 选择合适的等温温度

等温温度对等温正火后的锻件的硬度有很大的影响,等温温度越高,其硬度越低,等温越低,其硬度越大。等温温度通常是高于锻件材料 B_s 温度 50℃~80℃,具体的温度要通过试验来决定。

4 结语

综上所述,本文结合理论实践探讨了锻造余热热处理技术的应用,结果表明,锻造余热热处理技术的应用对节约锻造能耗,降低生产成本等具有重要意义。余热淬火、余热退火、余热等温正火是常见的锻造余热热处理技术,每种热处理技术都有其独特的特点和应用范围,在实际应用中,需要结合锻件的特点和使用要求,选择合适的锻造余热热处理技术,并加强对注意事项的把控,才能获得高质量、高性能的锻件。

参考文献:

- [1] 尤永龙,贾刚,尤传斌.F51 双相不锈钢锻造及热处理问题探究[J].金属加工(热加工),2022(12):74-77.
- [2] 钟立伟,冯朝辉,高文理,等.多轴锻造与 T852 热处理对 Al-Cu-Li 合金组织及力学性能的影响[J].金属热处理,2022,47(09):79-86.
- [3] 谢志勇,朱娟芬,李鑫,等.挖掘机斗齿用 40Cr 钢的半锻造余热淬火工艺研究[J].矿冶工程,2022,42(02):125-127,131.
- [4] 李娜,白政民,葛新峰.锻造及热处理对 4Cr5MoSiV1 模具钢组织与性能的影响[J].热加工工艺,2022,51(15):87-89.