

钛及钛合金的真空热处理分析

李嘉瑶, 陈子鹏, 周卓帆, 王致皓

(陕西工业职业技术学院, 陕西 咸阳 712000)

摘要 现代国防工业发展迅速, 对金属材料提出了更加严格的要求, 如此, 相关人员必须要合理研究和开发应用性能较高的合金和复合型材料。而钛及钛合金强度较高, 具备可以抵抗四周介质腐蚀破坏作用的能力, 不存在磁性, 具有较好的低温力学性能, 故而在不同行业或领域当中应用甚广。但是, 钛及钛合金也存在不足, 如导电性和耐磨性不足等, 需要合理改善其劣势。本文简要阐述了钛及钛合金的基本概念, 并针对钛及钛合金的真空热处理措施进行了研究与探讨, 以供相关人员参考。

关键词 钛及钛合金; 真空热处理; 淬火处理; 相变过程; 真空气淬冷却

中图分类号: TG166

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)07-0001-03

钛是在 1791 年 1 月 6 日被英国牧师和化学家威廉·格雷戈尔发现的。钛被发现以后, 由于其具有一定的抗腐蚀性、比强度价高等特征, 在各行业当中运用甚广, 不过钛及钛合金存在低硬度、耐磨性不佳的缺点, 从而阻碍了其应用和发展。为了提升钛及钛合金硬度与耐磨性, 需要对其进行真空热处理, 在真空热处理当中, 涵盖了真空气淬、水淬、油淬等技术, 其中, 真空气淬对钛合金质量有很大的影响, 而气淬冷却速度对固溶处理要求不能完全满足, 水淬为赋予固溶强化的重要技术之一。立式真空水淬冷却较快, 同时拥有令人满意的固溶强化之效, 是业界有关人员关注的核心技术。本研究依据我国真空热处理情况, 结合热处理和表层改性技术拟定了新的发展目标, 研发出立式真空水淬炉, 同时表明立式真空水淬为钛及钛合金真空热处理的主要发展趋势。

1 钛及钛合金概述

纯钛是一种金属物质, 颜色呈银白色, 有着较多优秀的性能, 其密度是 4.54 g/cm^3 , 相较于钢而言轻得多, 但是和镁相比更重一些。机械强度和钢基本相同, 和铝比较更大一些, 和镁比较大得多。钛十分耐高温, 是非常活泼的金属。在加热过程中可以和氧气、氮气等非金属发生作用, 不过一般温度条件下, 钛表面会有一层薄薄的氧化物保护膜, 该膜能够抵御强酸, 有着很强的抗腐蚀性^[1]。故而, 普通金属在酸、盐等溶液当中会发生显著的变化, 可是钛不会, 由此可见其性质十分稳定。而钛合金则是一种高强度、密度小、具有一定的抗腐蚀性、韧性佳、机械性能甚好的金属, 运用范围很广。

钛及钛合金性能主要体现在各个方面: (1) 钛合

金密度较小, 与钢的密度比较而言, 只是钢的 60%, 部分强度较高的钛合金比很多合金结构钢强度更大。所以, 钛合金比强度远远超出别的金属材料, 钛合金可以制造出强度较高的零部件。(2) 在湿度较高的大气中, 以及海水介质工作过程中采用钛合金, 其具备良好的抗腐蚀性, 可以有效抵抗酸性、点蚀, 对氯化物和硝酸等有抗腐蚀能力, 不过, 钛对铬盐介质的抗腐蚀性还有待加强。(3) 钛有着较强的化学活性, 会和大气里面的二氧化碳、水蒸气等产生化学反应。当其含有 0.2% 以上的碳时, 就会在钛合金内形成硬质 Tic; 在温度持续上升的情况下, 就会和氮发生化学反应, 从而形成 TiN 硬质表层; 如果温度在 $600 \text{ }^\circ\text{C}$, 那么钛吸收氧气就会变成高硬度硬化层; 当氢含量不断增加, 就会形成脆化层。吸收气体致使硬脆表层形成, 其硬脆表层的深度就是 0.1 mm 至 0.15 mm, 硬化程度控制在 30% 左右^[2]。

2 钛及钛合金热处理强化及其特点

2.1 淬火处理

钛及钛合金热处理强化方法之一为淬火时效, 借助相变增加强化效果, 所以也被人们称为强化热处理。对纯 α 型钛合金, 热处理方式效果不明显, 该处理多使用在 $\alpha+\beta$ 型当中。冷却方法大多使用水淬, 气淬以及油淬用得并不多, 淬火过程需要保证快速, 避免 β 相转移的时候出现分解的情况, 从而削弱时效强化效果^[3]。

2.2 相变过程

钛及钛合金加热和冷却过程中导致的相变为热处理强化之基, 大体是在马氏体发生相变以后, 时效分

解得到弥散强化。对 $\alpha + \beta$ 钛合金及钛、铬、铝来说, 高温冷却以后, 按照冷却速率的差异性会出现不同的变化。如合金由固溶温度水淬的时候, 出现马氏体相变, 在此环节中具有亚稳定形成, 室内温度下获取到马氏体; 在冷却变缓的情况下, 也就是油淬过程中, 一些 β 相变成 ω 相; 在冷却处于低速情况下, 也就是加压气淬的时候, β 相变成 α' 和 ω 相; 在冷却缓慢的情况下, β 相变成 α 相和 β 相; 在 $520\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上, $720\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内的情况下, 冷却速度尤为缓慢, 出现共析分解 $\beta \rightarrow \alpha + \text{TiCr}_2$, 也就是 α 相于原始的 β 相形核且长大。

通过以上分析可以了解到, 要想促使钛及钛合金材料固溶强化, 基础环节就是淬火, 在淬火的时候, 冷却速度发挥着重要作用^[4]。要获得马氏体相变, 理应推进冷却速度, 而非削弱冷却速度, 通常而言需要立式真空水淬才可以实现。

2.3 特点

钛及钛合金于加热或冷却的情况下会产生相变, 针对不一样的体系能够通过控制气的相变过程获取到不一样的组织结构。经过各种介质的冷却试验, 能够了解到热处理强化特点体现在以下几个方面: (1) 热处理强化多运用于 $\alpha + \beta$ 钛合金、近 β 钛合金, 如果用在别的钛和钛合金当中, 是很难得到令人满意的效果的; (2) 和钢、铁不同, 反复热处理相变无法把晶粒进行细化处理; (3) ω 相让合金变得很脆, 淬火需要防止构成该种相; (4) 马氏体相变无法加强钛及钛合金, 需要经过淬火构成稳定相时效分解, 也就是弥散强化; (5) $\alpha + \beta$ 型热处理淬火以后淬透性较弱, 淬火热应力较大, 如此就会导致长杆状零件发生变形, 所以应竖向装料, 同时实施纵向步入淬火介质; (6) 迅速冷却相较于缓慢冷却组织里面的 α_p 相更小。

3 真空热处理技术

钛的性质十分活泼, 易被氧、碳等污染, 使合金性能下降, 因此钛合金热处理过程中需要使用真空炉保护; 若于氧化性当中进行加热处理, 就需要严控以及消除工件表面的氧化层。需要做真空热处理的零件有很多, 除了较常进行的钛合金钣金件、铸件去应力退火、时效处理等, 钛合金除氢退火和高强度钛和合金钣金零件时效处理均需要于真空炉内实施。真空热处理为零件制造核心工序, 该性能是由热处理准确性决定的, 而真空热处理常用的冷却介质是真空淬火油, 不含水、氧。挑选差异化的冷却介质, 其冷却速度有一定的差别^[5]。具体来看, 钛及钛合金的真空热处理技术包括真空气淬冷却、真空油淬冷却以及真空水淬冷却。

3.1 真空气淬冷却

该技术关键是经过不含有氧气的气体展开冷却处理的技术, 在一定范围以内伴随炉体中的气体压力增加, 冷却快速, 现如今真空气淬采用的冷却气体为氦气、氮气等, 不一样的气体之间具有导热性能差异, 如氦气是冷却性能较高的一种气体, 而氮气相反。使用氦气开展超高压气淬处理, 冷却速度与油淬基本相同, 不过在实际使用过程中会有风险产生, 实施高温处理时会产生氢脆的现象, 故而, 不适于真空热处理操作。使用氮气实施超高压气淬, 冷却速度于油淬、水淬处理中间处, 可以代替过去的真空油淬操作, 不过, 因为该应用成本高, 在淬火操作以后要回收, 操作困难, 无法科学使用于真空热处理当中。氮气于实际应用中, 成本低、安全, 不过缺少冷却性能, 高温情况下会与 TI 产生反应, 造成工件性能下降, 不适于真空热处理。

3.2 真空油淬冷却

这种技术在实际使用的时候, 多把真空淬火油作为冷却介质, 取代盐浴热处理、气氛保护热处理, 可以确保力学性能, 加强表面光洁度, 保证中和金刚和高合金钢淬火得到令人满意的结果。现阶段, 这种技术在有关热处理行业当中运用甚广, 在长期设备改进、优化工艺、提高品质的情况下, 技术变得越来越成熟^[6]。不过, 冷却的时候, 速度缓慢, 若无法严格控制, 就会在热处理过程中产生脆性, 与此同时, 在高热加热入油以后, 工件表面易与油蒸汽之间产生反应形成增碳, 对工件性能会有负面影响, 所以, 无法使用在钛及钛合金真空热处理当中。

3.3 真空水淬冷却

这一技术主要是把水作为淬火介质, 能够科学开展钛及钛合金固溶处理, 在实际应用环节中, 把工件安装于真空环境, 进行无氧化加热处理以后, 需要及时转移至淬火水槽中, 得到对应的固溶物质, 现阶段, 部分发达国家在积极研究真空水淬技术和机械设备等的过程中, 希望以此减少综合生产费用, 在保证加工性能的同时, 加强生产效果与质量。

4 发展趋势

现阶段, 我国在真空水淬上采用了卧式真空水淬炉设备, 这是根据卧式真空油淬炉演变而来的, 把该淬火介质由油料变成水分, 尽管能够得到不错的成绩, 但是易发生工件转移时间长的情况, 大概为 10 s 以上, 会污染加热的地方, 与此同时, 真空油泵易产生乳化的情况, 造成生态环境被污染, 而且要合理应用氦气洗护处理设备, 其应用成本高。为解决此问题, 我国

研究开发了一种新的立式真空水淬炉设备,这是针对真空热处理研发的,在使用时具有高真空加热性能,水介质除了可以开展淬火固溶处理,也可以精准把控转移时间,防止零件在热处理情况下发生畸变,通过设备真空热处理以后,零件表面具有相当的光亮度,可以给有关材料的热处理提供强化指导和支持。立式真空水淬炉设备具有不同的性能,具体如下所述。

4.1 加热室性能

针对立式真空水淬炉设备而言,多是经过无碳元素金属屏热场及高真空加热环境开展有关加热工作的,该设备内胆结构并非部分的,而是一个整体,把铝合金带当成是加热元件,借助差异化的不锈钢屏、钼屏,将二者加以整合,变成复合型隔热屏,这样能够把最高温度控制在 1 350 ℃。除了可以保证真空热处理稳定性外,也可以形成较好的加热场。相关加热室内有三级泵组,即机械泵、罗茨泵、扩散泵,可以得到杂质质量为 0.01 ppm 的气体,加热环境甚好,在这之中实施热处理,可以保证表面光亮度,打造没有氧化的热处理环境,对强化材料而言意义重大。

4.2 淬火室性能

针对淬火室来说,其结构关键为圆筒类的结构,多用于构件横向转移机械传动平台,可以促使 3 个工位一并运行,运行工位与加热室二者彼此对接,可以在水介质内做好淬火处理。在淬火室设置了有关物料升降运载系统,可以运输、转移工件。于淬火室内还存在着独立的真空系统,该系统能够给热处理提供真空状态,使真空度保持在 10 PA,确保工件从加热室转移至淬火室这一环节无氧化。于淬火室内还设置了水文传感器、制冷设备、加热设备等,使水温保持在 13 ℃左右,且水搅拌系统可以实施介质强烈搅拌,提升冷却处理成效,让工件均匀冷却^[7]。

4.3 整体设备性能

做好工件保温以及加热处理工作以后,从加热室到水介质,直至把全部的工件一一浸没结束,在这一环节中固溶处理转移期间,通常会由于淬火时间延缓而发生消耗时间的情况。但是,从理论上而言,淬火延缓的时间需要保持在最小范围内,假设时间太长,就会造成工件表面温度快速下降,对马氏体相变和显微组织有负面影响,工件性能也会被影响,变得越来越低。特别是现如今采用的 $\alpha + \beta$ 型工件,倘若淬火延缓时间在 8 s 以上,那么就会造成 α 相与原始的 β 相界形合并长大,如此对淬火状态力学性能有不良影响,无法保证热处理取得令人满意的效果。所以,在

将来发展过程中,需要根据现阶段的淬火延缓问题,科学设计把工件从加热室移至淬火室的轨迹,最佳的情况就是合理运用垂直降落形式,经过轨迹有效改善以及缩减转运时间,把其严格控制在 6 s 以内,与此同时需要有效防止蒸汽对真空泵组造成污染,保证真空处理性能处在良好的情况下。

按照有关监测能够充分认识到,正常使用立式真空热处理设备,可确保工件外形光亮,不会发生氧化的问题,同时具有很高的淬透性,可以于直径 20 mm 的截面当中实施淬透处理。同时,在进行加工以后,较少发生畸变,可以把全跳动量增加到 0.02 mm,在处理后能够有效提高工件机械性能,具有很高的应用价值与优势。所以,在将来发展过程中,需要科学使用立式真空水淬炉设备,保证真空热处理取得良好的效果。

5 结束语

在钛及合金固溶强化处理环节当中,必须要确保冷却迅速,有效防止与氧元素、碳元素等不同元素之间产生化学反应,处理困难,使用真空水淬冷却技术能够有效满足这类要求,还可以保证淬火工艺实际应用成效。以往的卧式真空水淬炉设备在实际使用期间需要较长的转移时间,无法保证真空热处理成效,但是立式真空水淬炉设备在使用时能够节省转移时间,从而可以弥补以往设备应用中的不足,也可以缓解眼下真空热处理上的技术问题,保证工件越来越高效,实施科学有效的加工,有着很高的应用价值。所以,在真空热处理发展过程中,需要着重关注立式真空水淬炉设备实际应用效果,提高工件加工质量。

参考文献:

- [1] 阙延勇,苏方正,徐曦荣,等.工业用钛及钛合金材料的应用现状[J].上海化工,2023(06):58-61.
- [2] 王长江,陈小龙,姬会爽,等.用于钛及钛合金管材的短流程制备方法[J].信息记录材料,2023,24(03):46-49.
- [3] 吕建波.钛及钛合金真空热处理及表面处理技术[J].工程技术(文摘版)·建筑,2017(09):217.
- [4] 郭克星.钛合金的制备和应用[J].热处理,2023,38(05):8-12.
- [5] 胡波,徐辰,刘斌,等.钛合金作动部件耐磨性能提升及工程化应用研究[J].材料保护,2023,56(04):131-137.
- [6] 刘涛,柏威,吴乔国,等.热处理对 TC4 钛合金动力学性能和微观组织的影响[J].应用力学学报,2023(04):805-813.
- [7] 韦宇.钛合金真空热处理淬冷却技术的现状研究及趋势分析[J].中国机械,2020(06):114-115.