

# 热处理技术 将促进高强度螺栓的发展



文/冯琴

先进制造技术是先进高强度螺栓发展的技术支撑，热处理是提高装备制造业产品寿命和可靠性的一个关键技术，紧固件的形状取决于成形制造，但它的性能完全取决于制造环节，热处理不改变工件尺寸形状，而是通过加热和冷却改变材料内部的组织，从而控制内部的性能，所以它是先进制造技术的重要组成部分，对高强度螺栓、高端机械装备的发展有著十分重要的作用。但传统的紧固件制造习惯中常常认识了“化学成分”的重要性，却不认识热处理的重要作用 and 地位。

热处理工艺按时间的长短和温度的高低会带来不同的效果，不同的热处理所带来的紧固件不同的性能提升。热处理可以大幅度提高紧固件的强度，但热处理产值只占到企业总产值的30%左右，且消耗能源增加生产成本。然而，四两拨千斤，热处理水平的高低，却代表企业的竞争力。当今拥有名牌的产品都掌握独到的热处理工艺技术并严加保密，热处理关键技术就成为市场竞争力的核心要素。

热处理工艺在紧固件制造中，对其性能的改变有较为突出的作用。热处理是一种细节决定成败的技术，怎么淬火，怎么加热，保温多长时间，同样的钢种，不同的使用要求，淬火加热温度、回火加热温度各不相同。热处理研发难度大，先进热处理技术是买不来的、拿不来的，唯有自主研发。“十三五”期间及其未来10年，加快发展紧固件热处理的必要性、紧迫性和重要性，已异常突出地提到我们面前。笔者大胆提出新的展望，近期对紧固件热处理技术研发项目，仅供参考，不当之处请批评指正。希望全行业同仁齐心协力，实现我国由紧固件制造大国向制造强国转变的梦想。

## 开展有关马氏体含量的研究

在GB/T3098.1-2010《紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱》强调对8.8级及以上产品的材料要求应有足够的淬透性，以确保螺栓螺纹截面的芯部在淬硬状态、回火前获得约90%的马氏体。为保证良好的淬透性，对于8.8级、螺纹直径超过20mm的螺栓需采用标准规定的合金钢材料淬火并回火。

生产实践表明，淬火后马氏体的含量对螺栓的接触疲劳寿命及韧性有密切关联。高强度螺栓正常淬火后得到的组织是板条状马氏体和针片状马氏体。过多的非马氏体组织会导致强度、硬度下降，则对疲劳寿命及韧性产生不利的影响。淬火加热温度过低、或保温不足，奥氏体未均匀化，导致淬火后的组织为马氏体和未溶铁素体，铁素体即使回火也不能消除。

对于M48以上较大规格的螺栓，要完全达到约90%的马氏体组织，现阶段的钢材比较难以达标，如何“适量”引出了一系列问题。淬火后马氏体的粗细可按JB/T 9211-2008《中碳钢与中碳合金结构钢马氏体等级》进行评定。由于奥氏体化温度不同，马氏体形态和大小不一样。1级属于奥氏体化温度偏低，淬火组织是隐针马氏体、细针马氏体和不大於5%的铁素体（体积分数）；而8级则属于过热组织，是粗大的板条马氏体+粗片针马氏体。正常淬火时控制在3级~5级，其组织为细小的板条马氏体+片状马氏体，6级具有较高的冲击韧性、屈服强度和抗拉强度，适用于较大规格且要求淬透性高的螺栓。

目前，对紧固件常用钢材淬透性获得约90%的马氏体的影响机理缺乏系统的研究，对机械性能尤其是冲击韧性的影响在微观尺寸上尚没有必要的理论支撑，国内外此方面的研究报告不多，也不易定义出“适量”的多少。

为此，应深入系统开展有关马氏体含量的研究。根据紧固件实际服役或接近实际服役的条件下，研究马氏体含量的对机械性能（尤其是低温冲击、包括尺寸稳定性）影响的机理的研究，对大规格螺栓提出合适的马氏体含量的要求。

## 开展有关贝氏体淬火的研究

对于一些弹性垫圈类的紧固件产品，为了防止氢致延迟断裂，如何进一步提高弹性，如何提高强韧性、接触疲劳性能，贝氏体等温淬火有其优势，国内已开发UMS型贝氏体等温淬火网带炉生产线，非常适合弹性垫圈、弹簧类、链板产品的淬火。笔者建议同时开发新的钢种和贝氏体等温淬火技术，细化贝氏体组织，在保证强韧性的同时，显著提高弹性、耐磨性和抗疲劳、抗氢脆性能。开展贝氏体等温淬火介质与相关技术研究，一方面开发控制盐浴含水量的技术，保证盐浴的冷却性能；二是寻求替代介质和技术，减少环境污染，如用无毒盐浴代替硝盐，或采用其他冷却方式代替盐浴。

## 开展精密热处理技术的研究

精密热处理是一种先进热处理技术体系和理念，把热处理提升到一个新水平。目前的紧固件制造技术已由形状制造向功能紧固件制造的方向发展，对于紧固件制造，精密热处理有两方面的含义：一是根据需要，通过常规热处理或表面工程技术（如滚压强化、喷丸等），在螺栓不同部位或截面得到需要应力和性能或成分组织；二是精确控制（如细长杆螺栓）热处理后的尺寸和形状，达到少无变形、减小校直工序和磨削加工目的。

精密热处理的目标是赋予材料与紧固件稳定而分散度小的极限性能和极限服役性能，保证其服役长寿命和高可靠。精密热处理不仅保证形成残余应力场，而且保证形成与服役环境相适应的残余应力场结构，即最大残余应力值和残余应力深度。对于长杆类螺栓弯曲度控制在D直径的 $\pm 0.05\text{mm}$ ，而内螺纹紧固件的内孔锥度也控制在D直径的 $\pm 0.06\text{mm}$ 。

## 结语

总之，开发新的热处理工艺提高其性能，或提高热处理设备的技术水平保证热处理质量的稳定性，对于提高紧固件的寿命和可靠性乃至节能环保，均具有非常重要的意义和作用。在热处理理论和工艺装备方面尚有大量工作需进行系统、深入的研究和开发，紧固件热处理技术也必将融入到转型创新变革的潮流中而得到发展与提升。