

节能省时：感应加热淬火工艺

重庆齿轮箱有限责任公司 (402263) 谢新莉 赵 云

1. 感应加热淬火的基本原理

感应加热主要依据电磁感应、集肤效应和热传导三项基本原理，即当交变电流在导体中通过时，在所形成的交变磁场作用下，导体内会产生感应电流，导体中的电流强度从表面向心部呈指数规律衰减，电流集中在临近导体外表的一薄层，这种现象就是所谓的交变电流集肤效应。感应淬火正是利用这种集肤效应，使工件表面快速加热并淬火。

2. 工艺特点

感应加热是目前最常用的表面加热淬火方法之一，被广泛地应用于汽车工业及设备制造业，以提高和改善中碳钢、中碳合金钢和高碳钢工件表层的强度和耐磨性，并保持心部高韧性。

感应加热淬火加热速度快，可实现表层淬火，而无需整体加热，具有加热时间短、工件变形小、工艺过程易于实现机械化和自动化等优点。若在工件表面预先涂敷含渗入元素的膏剂或合金粉末，还可实现工件局部表面化学热处理或表面合金化处理，所以感应加热的用途非常广泛。

感应加热设备按电源频率分为工频、中频、音频和高频等，可分别适用于不同淬硬层深度要求的工件表层淬火。

3. 应用案例

我公司是设计制造船舶、冶金、建材、交通、风电等领域的各种减速齿轮箱大型企业。感应淬火在齿面强化和联轴器的花键轴、簧片等应用广泛。

直径达2200mm，模数25，单件重量达到7t多，材料为30Cr2Ni2Mo的大模数冶金齿轮，采用了单齿仿齿形中频连续加热淬火，齿面硬度和硬化层

都获得了满意效果。而对尺寸较小的油泵齿轮，直径约200mm，模数4，原采用渗碳淬火，工件变形大，后改用气体氮化和低温气体氮碳共渗工艺，均存在一定问题。最终采用齿部一次性高频加热、整体冷却淬火的工艺方法，满足了技术和使用要求。

我公司在20世纪80年代引进盖斯林格弹性阻尼联轴器，该产品主要适用于柴油机动力装置中的联轴器。其花键轴多采用40Cr钢中频局部淬火，而簧片多采用50CrVA钢高频局部淬火。

4. 图样设计探讨

众所周知，虽然渗碳淬火等化学热处理和感应加热淬火都可以使工件表面达到强化的目的，各有其独特优势，应用也非常广泛，但两者的强化原理有很大不同。而目前在工件图样设计时，热处理技术要求仍多沿用化学热处理的表示方法。

我国的JB/T8555—2008《热处理技术要求在零件图样上的表示方法》，虽然有表面淬火零件的图样标注方法，但过于简单，偏重于淬硬层深度和硬度的标注方法，对淬火硬化区域的表示仅注重于设计或使用的需要，基本没有或很少考虑感应加热淬火工艺的特殊性。

由于受到很多条件的制约，感应加热工艺参数的精准设计与控制、感应器的设计与制作等，往往过于依赖于技术工人的经验。有时很难实现图样设计的要求，或者给工艺操作带来很大的不必要的风险。所以零件的设计如何适应工艺及操作的需要，就显得非常重要。如我公司生产的联轴器簧片的高频局部淬火，引进图样标注如图1、图2所示。

对于图中的5mm尺寸如何理解，存在不同的看法。有人认为是可以不淬火的区域，也有人认为是

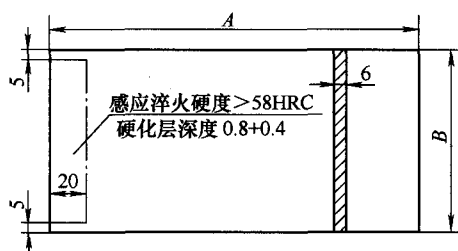


图1 簧片感应淬火区域尺寸

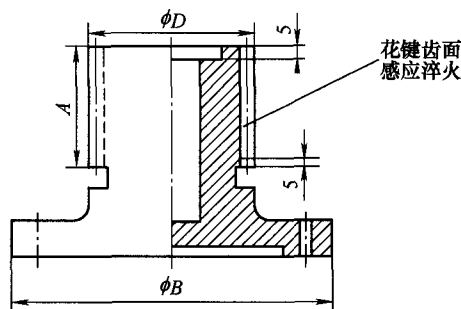


图2 花键轴感应淬火区域尺寸

不能淬火的区域。如果该区域不能淬火，在工艺操作上就采取起始端预留5mm开始加热，结束端5mm正常加热淬火，然后局部退火的方法，以保证该段的硬度与基体调质硬度一致。然而，不管是区域尺寸或是硬度，要严格保证满足这样的要求是很困难的，且经常在端部产生淬火裂纹，导致工件报废。

在为日本制造联轴器时，发现日本图样也有类似的标注方法，如对簧片、花键轴的键槽要求感应淬火时，其端部也视零件大小留有3~5mm可不淬火区域，类似图1、图2所示，以防止边角裂纹和剥落。因为感应淬火时，在端部的尖角棱边部位容易出现过热，产生所谓的尖角效应，易于产生淬火裂纹。这也是感应淬火与渗碳淬火工艺的一个很大不同点，在零件图样设计时应充分考虑工艺的可行性。

在德国DIN6773标准中，较多的针对表层淬火工艺的特殊性作了一些适用的特别规定。如在零件淬火部位距端部3~5mm可不淬火，目的是有助于减少边角淬火开裂和剥落的危险。在两个相邻淬火区，也需要保持一定距离，以避免产生交接过渡区裂纹等。该标准比较充分地体现了表层淬火与渗层淬火的不同工艺特点。

结合德国DIN6773标准，该簧片淬火两端所标注的5mm尺寸范围应视为可淬火或可不淬火区域。在工艺操作上，起始端预留5mm，在保证淬火区域

硬度的前提下，结束端适当提前断电停止加热，以降低结束端5mm尺寸范围的硬度，减小该区域的淬火应力。实践证明该方法是可行的，保证了零件的质量，避免了淬火裂纹的产生，同时满足使用要求，也减少了淬火后的端部局部退火工序。

如前所述的端部淬火、还有感应淬火有时存在一定的起止淬火交接区、过渡软化区、齿根与齿面淬硬层深度的差值等，都与渗碳淬火有很大不同。在实际的零件检测验收中，只能从感应淬火特性方面给予一定解释，缺少必要的验收依据。

由此看出，图样或标准的设计和制定，不但要满足产品零件的使用性能，还要适应零件的工艺加工性能，考虑感应加热淬火工艺的不同特点，充分发挥感应加热淬火的优势，制定适合感应加热特点的标准或规范。只有如此，才能生产出节能省时、质量有保证的产品。

5. 应用前景

近年来，随着装备制造业的发展，水泥、风电、冶金等重工行业所需求的齿轮箱功率也越来越大，齿轮的直径、模数也在不断增加，感应淬火必将有更大的应用空间。

我公司生产的渗碳齿轮模数达到60以上，大型齿轮、齿圈的直径超过3500mm，渗碳淬火后的变形很大，后期加工费用昂贵。这些都是目前渗碳淬火所面临的突出问题，急需解决。然而，感应淬火的表面硬度和硬化层深度均与渗碳淬火相当。但工件淬火变形程度和生产成本却远远低于渗碳淬火，基本不受齿轮尺寸的限制，如能提高设备和工艺的适应性，拓展市场，可用感应淬火解决大型齿轮渗碳淬火变形大、生产成本高和生产周期长的问题，以弥补渗碳淬火工艺的不足。

6. 结语

感应淬火是一种重要的热处理方法，被广泛应用于传动零部件的局部表面强化，以提高其表面耐磨性及承载能力，精确控制硬化层深度和显微组织。通过发展和挖掘感应淬火设备及工艺技术，加强标准化建设，充分应用感应淬火的工艺特点，扬长避短，更好的弥补渗碳及其他表面强化工艺的不足，促进行业的整体发展，前景非常乐观。MW

(20120312)