

渗氮齿轮的深层渗氮硬化

□ 杜树芳, 杨广林, 杜恒山



杜树芳 高级工程师

摘要: 分析了深层渗氮硬化技术的优势和齿轮服役时受力特点, 指出深层渗氮硬化技术应用于渗氮齿轮可以有效地提高齿轮的承载能力, 扩大渗氮齿轮的应用范围。

关键词: 渗氮齿轮; 时效硬化钢; 深层渗氮硬化技术; 受力分析

为了提高渗氮件的承载能力和挖掘渗氮强化的潜力, 开发了深层渗氮硬化技术。人们过去认为渗氮层很浅类似于“蛋壳”, 有很多误解, 经过多年来渗氮件的应用和渗氮技术的开发, 深层渗氮、新渗氮钢和新渗氮方法的不断出现, 使渗氮工艺在很多场合可以与渗碳工艺相媲美, 而且正在发挥着独特的优势。

1. 深层渗氮硬化技术

深层渗氮和深层硬化相结合, 形成了深层渗氮硬化的技术方案, 不仅把常规渗氮层深小于0.4mm提高到0.6~1.0mm, 同时实现渗氮表面下0.3~0.5mm处硬度提高到500HV以上, 硬度梯度

平缓。解决的途径是采用特殊工艺强化渗氮次表层和提高渗氮基体硬度(强度)。

为此, 研发了两种时效硬化钢^[1]: 20CrNi3Mn2Al和20Cr3MnMoV(见表1), 开发了深层渗氮硬化工艺, 提出了深层渗氮硬化技术的三个相关条件: 渗氮层深0.6mm以上, 渗氮表面下0.4mm处硬度大于600HV和渗氮基体硬度400~450HV(42~46HRC)。

(1) 时效硬化钢 采用时效硬化钢作为渗氮基体材料,

取代常规的调质结构钢, 可以实现不需油淬调质, 采用空冷固溶处理代替调质淬火, 渗氮和时效两个工序合一, 在渗氮过程中, 同时实现渗氮层硬化和基体时效硬化, 渗氮表面硬度大于900HV, 渗氮基体硬度大于400HV(42HRC)。简化工艺, 显著提高了渗氮基体硬度。

(2) 深层渗氮硬化 为了实现渗氮层深层硬化, 必须将时效硬化钢渗氮硬化和时效硬化两种机制正确地结合, 改变恒温渗氮为变温渗氮, 渗氮前期以渗

表1 试验钢的化学成分(质量分数) (%)

钢号	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Al	Nb
20CrNi3Mn2Al	0.14	0.31	1.84	0.89	3.2	0.24	0.22	1.25	—
20Cr3MnMoV	0.21	0.37	1.65	3.08	—	1.6	0.32	—	0.046

氮固溶强化和弥散硬化为主，后期为渗氮硬化和时效硬化叠加。采用离子渗氮工艺，可以充分利用离子轰击和阴极溅射造成的渗氮表面活化与不断出现的大量晶体缺陷，有效地加速氮原子的扩散，加快渗氮速度。

以时效硬化钢20CrNi3Mn2Al为例，与渗氮钢38CrMoAl普通渗氮和渗碳钢20CrMnTi常规气体渗碳淬火的硬化进行对比，如图1所示，其中20CrNi3Mn2Al钢经过870℃×3h空冷固溶处理+520~540℃×80h深层离子渗氮，38CrMoAl钢经过520~530℃×50h离子渗氮，20CrMnTi钢经过930℃渗碳+850℃油淬。三种材料不同工艺处理结果可以看出，时效硬化钢深层离子渗氮表面硬度高，表层强化效果显著，基体硬度高，与渗碳钢相当，高于渗氮钢。表明时效硬化钢渗氮后有很高的承载能力。

2. 齿轮受力分析

齿轮是在接触疲劳和弯曲疲劳的复杂应力条件下工作，渗氮层次表层承受最大的剪切应力，渗氮层剥落和疲劳破坏往往发生在次表层，因此强化渗氮次表层是提高齿轮承载能力的关键。

大量国内外试验研究结果证明^[2]，随着渗氮硬化层深增加和齿轮心部硬度提高，齿轮接触疲劳强度和弯曲疲劳强度随之提高。深层离子渗氮硬化技术，采用时效硬化钢和深层渗氮硬化，对渗氮齿轮满足重载复杂应力条件工作是重要保证。

试验表明，20CrNi3Mn2Al钢深层离子渗氮后，渗氮表面下0.4mm处硬度大于600HV，渗氮

基体硬度400HV（42HRC）以上，如表2所示。

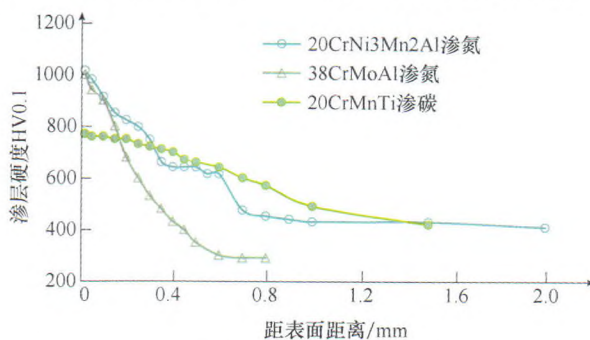
3. 应用展望

推荐20CrNi3Mn2Al钢作为时效硬化渗氮齿轮钢，采用深层渗氮硬化技术可满足渗氮齿轮工作条件的更高要求。

普通调质结构钢42CrMo、35CrMoV、25Cr2MoV等制造渗氮齿轮，基体硬度低（28~38HRC），次表层硬度低（表面下0.4mm处仅为400~500HV）。时效硬化钢20CrNi3Mn2Al钢固溶处理后硬度为30~36HRC，深

层离子渗氮后，表面硬度高于900HV，渗氮表面下0.4mm处硬度为600~650HV。基体硬度为40~46HRC，渗层深度为0.7mm以上。

展望用时效硬化钢制造渗氮齿轮，可以预期有广阔应用前景。现有调质结构钢制造的渗氮齿轮，模数不超过10mm^[3]，由于时效硬化钢采用了深层渗氮硬化技术，大大强化了渗氮层和基体，明显提高了齿轮的承载能力。可以期望时效硬化钢渗氮齿轮模数会超过10mm，可用来制造重负载高性能齿轮。



渗氮钢与渗碳钢的硬化曲线

表2 20CrNi3Mn2Al钢深层离子渗氮后的硬度和层深

工 艺	距表面距离/mm									渗氮 层深 /mm
	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	1.0	2.0	
	硬度HV0.1									
520~540℃×50h	981	824	702	652	542	464	464	452	431	0.70
520~540℃×80h	913	824	748	642	642	615	475	431	411	0.90
520~560℃×50h	882	748	661	606	586	488	435	401	401	0.70

参考文献

- [1] 杜树芳.深层离子渗氮硬化技术[J].金属热处理, 2017, 42(6): 130-133.
- [2] 陈国民.对齿轮渗氮技术的评述[C].2008年洛阳齿轮渗氮技术专题研讨会论文集, 2008.
- [3] 卢金生, 陈国民.渗氮齿轮与渗碳齿轮的技术及经济性对比[J].金属热处理, 2010, 35

(3): 25-28.

作者简介: 杜树芳、杨广林、杜恒山, 长春金马热处理公司。

注: 有对该项技术感兴趣的读者或企业, 都可以和杜工联系、展开合作。联系电话: 13304318889。

MW 20170616