快速气体渗氮工艺：高温渗氮和稀土催渗

南京高速齿轮制造有限公司 （江苏 211100） 陈 贺 叶小飞 刘 臻

常规气体渗氮扩散速度慢，工艺时间较长。如大模数风电内齿圈获得0.5mm渗氮层，一般需要50h，甚至更长的时间。较长时间的渗氮一方面造成生产效率的降低，另一方面会造成零件畸变的增加，从而降低齿轮的精度等级，影响产品质量。因此，应积极寻求解决措施，提高生产效率。

一、高温渗氮及其质量控制

1. 高温渗氮简介

以提高表面硬度和强度为目的的常规气体渗氮工艺温度一般在520℃左右，高温渗氮是指采用更高的工艺温度（一般在540～580℃），在相同的氨分解率下，提高钢件表面的吸氮能力和氮原子的扩散能力，因而提高了渗氮速度。高温渗氮最高工艺温度一般根据零件畸变情况和预备热处理温度进行选择。

2. 高温渗氮的优缺点

采用高温渗氮具有以下优点：①提高氮在γ′相和γ相中的扩散速度，大幅缩短渗氮时间，提高渗氮效率。②可以降低能源消耗。③降低因渗氮时间过长导致表面硬度下降的风险。

采用高温渗氮工艺的缺点包括：①渗氮温度高，合金氮化物聚集长大速度快，渗氮层表面硬度下降明显。②采用高温渗氮，工件变形倾向加大。容易降低工件的精度等级，甚至需要增加精加工处理。③对工件的预备热处理要求较高，要求具有较高的回火温度，以及充分的去应力处理。

3. 应用案例

以风电增速箱内齿圈表面处理为例介绍高温渗氮工艺的应用，内齿圈基本信息如表1所示。

表1 内齿圈基本信息

材料	模数	外径/mm	齿宽/mm	渗氮层深/mm
42CrMo	16	2300	420	≥0.6

零件预备热处理为调质，回火温度580℃左右，调质后零件硬度在290HBW左右。预备热处理温度至少需比氮化温度高28℃，氮化最高工艺温度

对两种不同工艺处理后的零件齿部进行了硬度测试，测试结果表明，经两种不同工艺处理后，零件齿面硬度接近，在59HRC左右，这足以保证齿面有足够的接触疲劳强度。

（3）工艺运行时间对比 两段渗碳+球化退火+淬火回火工艺运行总时间为259h，缓冲渗碳+淬火回火工艺运行总时间为156h。这充分说明，缓冲渗碳工艺极大地缩短了工艺周期、降低了制造成本。

4. 结语

（1）对于20CrMnMo大模数齿圈的深层渗碳，采用两段渗碳工艺，容易导致渗层表面形成网状和块状碳化物。而采用缓冲渗碳工艺，可在渗层表面获得弥散分布的细颗粒状碳化物，有效改善了渗层中的碳化物形态。

（2）缓冲渗碳+淬火回火工艺使渗层内硬度梯度变化合理，齿圈齿面硬度达到59HRC左右，满足了高速重载齿轮的使用要求。

（3）缓冲渗碳+淬火回火工艺明显缩短了工艺周期，大幅降低了制造成本。 MW

（20120310）

可选择为550℃，渗氮工艺参数见表2。

表2 渗氮工艺参数与随炉试样渗氮层深

材料	渗氮温度/℃	氨分解率(%)	工艺时间/h	试样渗氮层深/mm
42CrMo	520	30～50	75	0.61
	540	30～50	47	0.62
	550	30～50	38	0.60

注：渗氮层深度界定按ISO 6336—5标准执行。

采用550℃高温渗氮，达到相同的层深，工艺时间可节约49.3%，大幅提高了生产效率。

采用上述550℃渗氮工艺，除层深外，其余指标按GB/T 11354进行质量检测，检测结果见表3。

表3 550℃渗氮质量检测结果

氮化物(级)	白亮层厚度/mm	零件硬度HV	脆性(级)	疏松(级)
2	0.0125	630	1	1

工件畸变主要通过装炉、升降温速度、出炉温度等方面进行控制，经过对高温渗氮后的齿圈进行计量，节圆跳动、基准端面跳动均在0.04mm范围内，符合相关技术要求规定。

二、稀土催渗及其质量控制

1. 稀土催渗简介

稀土元素特有的电子层结构决定了稀土元素在化学热处理过程中有很强的活化催渗作用。稀土元素在室温下就能吸氢，在250～300℃时容易与氢发生反应，并生成REH2和REH3等类型的化合物。在渗氮气氛中，稀土元素与氢结合，使氢分压下降，有利于氮势的提高。有学者提出“气团”模型，稀土的渗入加速其他待渗原子的扩散。有资料显示，添加稀土可使气体氮化渗速提高20%～50%。

2. 稀土催渗的优缺点

在渗氮中添加适量的稀土元素，有以下优点：①提高渗氮速度，缩短工艺周期，提高渗氮效率。②提高表面硬度，有试验证明在常规渗氮温度下，添加稀土可使渗氮表面硬度提高100HV以上，可为高温氮化提供先决条件。③能改善渗层的组织，使渗层组织更加致密，能改善渗层耐磨性能和冲击韧性。

稀土催渗工艺的缺点包括：①稀土的催渗效果与其加入量有关，在渗剂中添加稀土并非越多越好，而是有一个最佳值。此最佳加入量范围与渗剂组成、渗氮炉容量、工件形状、装炉量、装炉方式等多种因素有关，一旦加入过量，反而会使渗速下降，并使金相组织恶化，因此生产前需要进行大量试验验证，不适用于单件或小批量零件的生产。②加入稀土元素对设备有一定损害。③近年来稀土价格大幅上涨，增加了稀土催渗的成本。

3. 应用案例

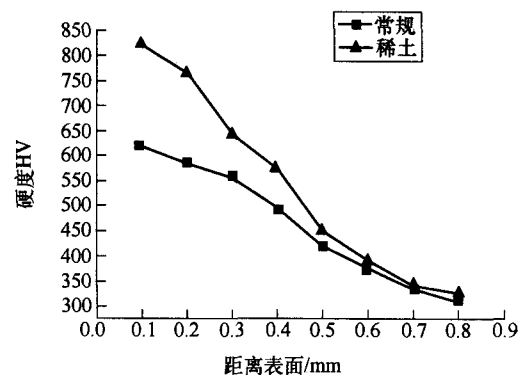
以42CrMo钢为例，对比分析了常规气体渗氮与稀土催渗气体渗氮的试验结果，如表4所示。可以看出在采用相同的渗氮温度和相近工艺参数的同时，稀土催渗的42CrMo钢达到相同层深的时间比常规渗氮短30h。

表4 42CrMo钢稀土催渗与常规渗氮的比较

工艺	材料	渗氮温度/℃	氨分解率(%)	渗氮层深/mm	工艺时间/h
常规渗氮	42CrMo	520	30～50	0.542	70
稀土催渗				0.547	45

注：渗氮层深界定按ISO6336—5标准执行。

稀土催渗气体渗氮和常规气体渗氮的硬度梯度对比见附图，可以看出，稀土催渗获得的硬度均比常规渗氮高，其中表面硬度高出约200HV。



42CrMo钢稀土渗氮和常规渗氮硬度梯度对比

三、结语

（1）高温渗氮能加快工件渗氮速度，提高生产效率。如风电增速箱内齿圈采用550℃气体渗氮工艺比常规渗氮节省近50%的工艺时间，且工件畸变通过采取相应措施后能够得到有效控制。

（2）稀土催渗有利于提高工件渗氮速度和工件硬度，如42CrMo钢采用稀土催渗渗氮技术，其表面硬度可提高100HV以上，生产效率提高30%以上。MW (20120312)