

大模数重载人字齿轮轴硝盐淬火工艺研究

常州天山重工机械有限公司 (江苏 213125) 顾晓明 姜维杰 丁 盛

大模数重载人字齿轮轴作为轧机中重要的运动与动力传动零件,要求人字齿轮轴具有高的接触强度与抗弯强度,其齿面硬度要求58~62HRC,一般采用17CrNiMo6钢,渗碳淬火工艺。目前,重载人字齿轮轴淬火冷却介质普遍采用快速淬火油,在冷却性能、成本、稳定性以及环保方面具有一定劣势。而硝盐与油相比,具有诸多优势,本文着重研究大模数重载人字齿轮轴硝盐淬火工艺。

一、热处理技术要求

重载人字齿轮轴如图1所示,零件参数、材质临界点和化学成分见表1~表3。热处理技术要求为表面硬度58~62HRC,心部硬度35~45HRC,有效硬化层深4.5~5.0mm,图样要求硬化层深≥2.75mm。表面组织为马氏体3级,心部组织3级,残留奥氏体2级,碳化物2级。热处理质量检测按JB/T 6141.3-1992《重载齿轮渗碳金相检验》执行。

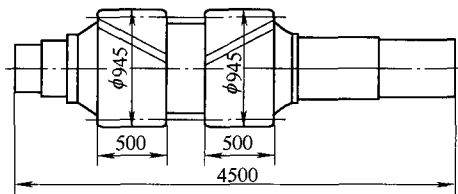


图1 重载人字齿轮轴

表1 重载人字齿轮轴参数

材质	齿数	法向模数/mm	齿形角(°)	全齿高/mm	螺旋角(°)
17CrNiMo6	34	23	20	54.5	28

表2 临界点 (°C)

材质	M_s	A_{c1}	A_{c3}
17CrNiMo6	400	730	820

表3 重载人字齿轮轴化学成分(质量分数)(%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0.19	0.25	0.62	0.0024	0.005	1.60	1.52	0.28

该重载人字齿轮轴渗碳淬火存在以下技术难点:①硬化层深4.5mm以上,渗碳时间长,碳化物控制困难。②有效截面达φ945mm,油淬不能满足大截面零件高温冷却速度要求,而盐浴可通过介质温度、含水量的控制在高温区实现高于油的冷却能力,难点在于合理选择温度及含水量。③由于零件有效截面大,盐浴淬火在分级前期盐浴以及后期空气中冷却均较缓慢,相对油而言,淬火后残留奥氏体较多,难点在于如何选择合适的工艺,消除残留奥氏体的同时,保证表面、心部获得合格组织。

二、试验工艺

人字齿轮轴热处理采用φ1300mm渗碳炉,零件处于炉体中心,齿部与辐射管距离均等,保证零件加热及冷却中热量传递均匀,减小热应力变形。渗碳淬火工艺采用重新加热淬火工艺,试验盐浴配方为50%KNO₃+50%NaNO₂,熔点140℃,采用分级淬火工艺,即心部组织在盐浴中转变,表面组织在空气中转变,从而减小应力,减小变形。从组织质量、成本方面分析工艺可行性。工艺曲线如图2~图4所示。

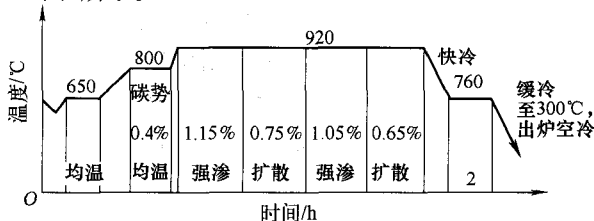


图2 渗碳工艺

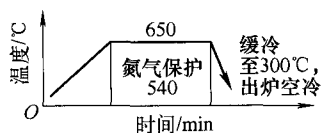


图3 渗碳后高温回火工艺

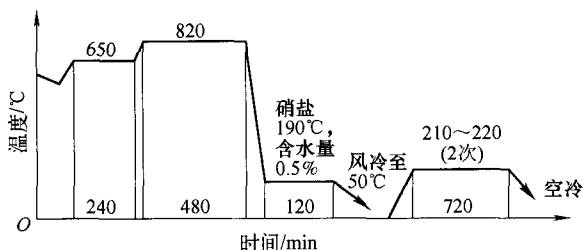


图4 淬火+回火工艺

三、试验结果与分析

1. 试验结果

试验结果如表4、表5所示。试验工艺实施后，存在以下问题：①心部硬度31~33HRC，低于技术要求（35~45 HRC）。② $\phi 45\text{mm} \times 90\text{mm}$ 试样表面硬度58~58.5HRC，偏技术要求下限。③心部5级游离铁素体组织，呈块状及条状。

表4 人字齿轮轴热处理试验结果

碳化物 /级	马氏体及 残留奥氏体 /级	心部铁素体 /级	心部晶粒度 /级	齿面硬度 HRC
1	1	5	7	60~62
内氧化 深度/ μm	脱碳层深度 / μm	有效硬化层 深度 (550HV1) /mm		心部硬度 HRC
16	26	4.50		31~33

表5 人字齿轮轴试样硬度值分布

距表面距离 /mm	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	4.3	4.9
硬度值 HV1	661	673	667	663	668	669	649	624	571	560	530

2. 试验结果分析

(1) 心部不合格 齿轮轴心部硬度不足，存在较多的游离铁素体，铁素体为软性相，心部过量铁素体的存在直接导致心部硬度不足。

心部铁素体超标主要由以下几个因素导致：

①原材料为3级带状组织，淬火后心部组织呈马氏体与游离铁素体区交替分布。C、Mn、Cr、Mo等元素的微观偏聚，合金元素含量的缺乏导致临界点 A_{c3} 提高至820℃以上，在820℃奥氏体化条件下，合金成分贫乏区将为非完全奥氏体化，存在未溶铁素体，淬火后未溶块状铁素体将遗传至室温；同时

由于合金元素贫乏，导致淬透性下降，淬火冷却时由于冷却能力达不到偏析区马氏体形成的临界冷却速度，导致冷却时析出条状铁素体。②含水量0.5%的190℃硝盐淬火冷却介质的高温区冷却能力不足。硝盐含水量对于盐浴的冷却性能十分关键，未加水的盐浴其冷却性能较差，通过向硝盐中加水可以大幅提高其高温冷却性能。随着硝盐浴温度提高，其冷却性能降低，但盐浴温度提高又加快硝盐的流动性，能促进冷却，因此选择合适的盐浴温度及含水量对冷却性能影响显著。渗碳齿轮硝盐含水量一般控制在0.4%~1.5%，此次试验盐浴温度（190℃）偏高，同时含水量（0.5%）较少，未能大幅提高水盐混合介质的汽化热值，导致淬火冷却介质整体高温冷却性能不佳。

(2) 试样表面硬度偏低 $\phi 45\text{mm} \times 90\text{mm}$ 试样热处理后表面硬度仅58~58.5HRC，远低于本体齿面60~62HRC，表面硬度差异影响硬化层曲线走势，导致试样有效硬化层数值不能真实反映本体硬化层数值。由检测数据以及工艺路线可知，硬度偏低主要是由于回火温度较高且时间较长所致，本质原因在于试样尺寸较小，其抗回火性较差。对于17CrNiMo6渗碳齿轮而言，一般低温回火温度高于200℃后将产生明显的高碳马氏体软化现象，在170~180℃回火，随着时间的延长，高碳马氏体软化不明显。

试验工艺是专为零件本体而制定的，由于硝盐淬火奥氏体稳定化严重，淬火后存在一定数量的残留奥氏体，回火温度必须达到210℃才可使残留奥氏体转变。该工艺路线虽然回火温度高、时间长，但由于零件有效截面大，需要很长时间才可完全烧透，其回火后零件硬度仍可达到60HRC以上，但该工艺对小截面试样却不适用。 $\phi 45\text{mm}$ 试样回火4h即可达到回火目的，实际上回火时间长24h，高碳马氏体软化明显。

(3) 表面组织 目前国内对于17CrNiMo6材质零件，考虑到合金元素含量较高等原因，在其渗碳后普遍采用高温回火处理，其目的在于：①降低淬火后残留奥氏体量。②对断续细网状碳化物进行球化处理。③消除渗碳后空冷产生的马氏体组织遗传效应，细化表面晶粒。④消除应力，减小变形。

从试验结果来分析，碳势值设置为0.65%，4段

渗碳法，强扩比缩小至1.2~1.5，表层淬火后无可见碳化物，说明通过有效的渗碳工艺手段可以解决表面碳浓度控制难题。

试验渗碳出炉温度为760℃，处于17CrNiMo6两相区内，此时出炉相当于空淬，导致表面产生马氏体或下贝氏体组织。由于马氏体组织遗传效应，重新加热时其表面马氏体会进一步长大，产生粗针马氏体，所以760℃出炉必须进行高温回火处理，但这会造成成本增加，生产周期延长。若将出炉温度降低至650℃，由于零件在炉内退火冷却，表面、心部均获得平衡组织，重新加热时形核率增大，表面奥氏体晶粒细化。通过650℃出炉工艺可以消除组织遗传效应，细化组织，达到高温回火的目的，可替代高温回火工艺。

四、工艺优化

基于以上论述，对重载人字齿轮轴进行如下工艺优化：

(1) 取消渗碳后高温回火处理，通过渗碳工艺手段避免表面形成超标碳化物，渗碳后炉冷至650℃出炉，取消高温回火。

(2) 淬火工艺采取先840℃保温，消除未溶铁素体，降低偏析区奥氏体化温度，提高淬透性；快冷至820℃保温淬火获得优良表面组织，降低残留奥氏体数量，减小高碳马氏体针长度。硝盐浴温度降低至160℃，含水量提高至1.0%，以获得更快的高温区冷却速度，防止心部形成游离铁素体；同时盐浴温度降低可有效减轻奥氏体稳定化现象，表面残留奥氏体数量减少。优化后淬火工艺如图5所示。

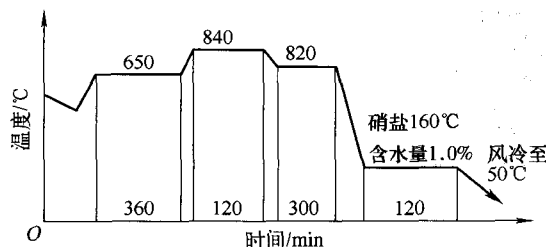


图5 优化后淬火+回火工艺

(3) 回火工艺优化为(210~220)℃×5h+(170~180)℃×20h。第一次回火温度较高，消除残留奥氏体。递减式回火路线在消除应力，稳定组织的同时，避免了试样过回火问题，使试样的检测结果更真

实地反映零件状态，检测结果更具比照性。

工艺优化后，试验结果见表6、表7。优化工艺后：①有效解决心部铁素体超标问题，心部硬度由31~33HRC提高至38~40HRC。②试样表面硬度与零件齿面硬度相吻合，试样的硬化层分布、有效硬化层深可以真实反映零件本体。③取消了渗碳后高温回火工艺，表面残留奥氏体<5%（体积分数），马氏体呈隐针及细针状，无可见碳化物，表面组织满足技术要求，验证了高温回火工艺的可替代性。

表6 工艺优化后试验结果

碳化物 /级	马氏体 及残留 奥氏体 /级	心部铁素体 /级	心部晶粒度 /级	齿面 硬度HRC
1	1	1~2	7	60~61.5
内氧化 深度 /μm	脱碳层 深度/μm	有效硬化层 深度(550HV1)/mm		心部 硬度HRC
15	20	4.62		38~40

表7 工艺优化后试样硬化值分布

距表面距离 /mm	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	4.3	4.9
硬度值 HV1	687	700	710	705	714	685	658	630	586	565	538

采用上述优化工艺，处理了10余件大模数人字齿轮轴，各项检测结果均满足技术要求，检测结果验证了该优化工艺的可行性。

五、结语

(1) 渗碳降温至650℃保温，获得平衡组织，消除组织遗传效应，结合表面碳浓度控制工艺，可替代渗碳后高温回火处理，降低了生产成本，同时满足热处理技术要求。

(2) 17CrNiMo6材质大模数人字齿轮轴最佳淬火工艺为840℃保温后快冷至820℃淬火。

(3) 硝盐浴温度为160℃、含水量1.0%时，可以大幅提高硝盐高温冷却能力，提高心部马氏体含量。盐浴介质冷却能力可调性强，能有效控制淬火质量。

(4) 递减式低温回火路线可以有效避免小截面试样过回火，同时可有效控制残留奥氏体数量，消除残留应力，使试样检测结果能真实反映零件淬火质量。MW (20120712)