

锻后控冷工艺在车桥齿轮毛坯锻造过程中的应用

郑冠军, 滕斐, 高永强

郑州华威齿轮有限公司 河南郑州 452370

摘要: 20CrMnTi钢汽车前后桥齿轮毛坯经锻造利用终锻温度的余热在KR1280正火液中淬火, 保证出液温度在650~750℃, 之后再采用780℃+3h高温回火, 替代锻造后等温正火工艺, 得到铁素体+部分球状珠光体组织。在后续加工中, 齿轮表面粗糙度比常规等温正火后切齿的表面粗糙度低0.05 μm以下; 正火硬度比普通等温正火工艺正火后硬度高20HB左右, 提高了机械加工的切削性能。解决了长期以来原工艺由于硬度低引起的粘刀和齿面粗糙度大的问题。省掉了等温正火的加热工艺过程, 可节约电能约300kW·h/t, 节约成本250元/t。

关键词: 正火液; 20CrMnTi钢; 车桥齿轮毛坯; 等温正火; 正火硬度; 切削性能; 齿面粗糙度

汽车齿轮毛坯属于低碳合金钢锻件, 碳元素含量少, 淬透性一般, 经渗碳+淬火之后, 齿轮表面具有高的耐磨性和强度, 心部具有较高的强度和良好的韧性。主要应用在具有一定冲击载荷的和变载荷的工况下, 如汽车前后桥传动齿轮。在实际生产中, 由于20CrMnTi、8620钢件的正火加热温度要比渗碳温度高出10~30℃, 这样材料在渗碳时, 组织不会继续发生变化和晶粒度变化, 渗碳后不易造成马氏体粗大或工件变形超差。目前对于齿轮钢的正火加热温度一般为920~940℃, 这样造成电费过高。为了既能保证工件毛坯质量, 使毛坯有良好的切削性能, 同时又能有效地降低加热成本, 亟需一种新的正火冷却工艺方法, 通过锻后控冷工艺使毛坯工件快速通过两相区(Ar3~Ar1), 抑制先共析铁素体析出, 改善冷却均匀性, 提高工件的综合力学性能。汽车后主、从动齿轮毛坯如图1和图2所示。

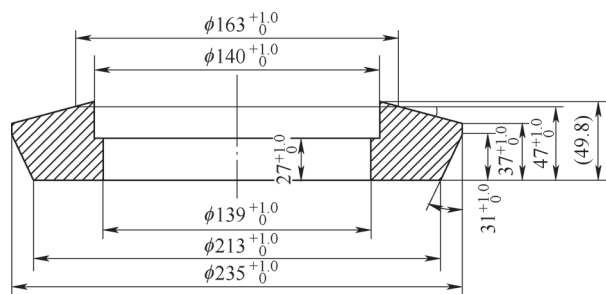


图1 汽车后从动齿轮锻造毛坯

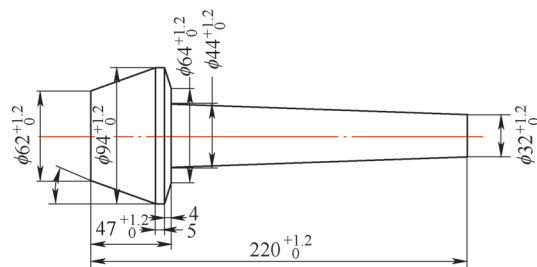


图2 汽车后主动齿轮锻造毛坯

锻后控冷工艺过程

现采用一种新型正火液，利用锻造后的余温（从齿毛坯终锻温度约900~950℃；主齿毛坯终锻温度约960~980℃），将工件放在正火液中进行冷却。该类正火液为高分子聚合物，与水完全互溶，且无逆溶性，属于匀速冷却介质，蒸汽膜阶段长，冷却曲线平直，最大冷速介于空气与淬火油之间，不同浓度正火液与空气、淬火油的冷却曲线如图3所示。工件完全浸入正火液中，散热主要以辐射和对流的方式进行，冷却均匀性优于风冷，同时较快的冷却速度，可使工件快速通过两相区，抑制先析铁素体的析出，提高珠光体的含量，具体工艺过程如下：

锻后控冷工艺：齿坯终锻结束后，直接浸入19%KR1280正火液中冷却，控制出液温度在650~750℃，在保温筐中进行缓慢冷却到室温，放入等温正火线中780℃等温3h，出炉后空冷。

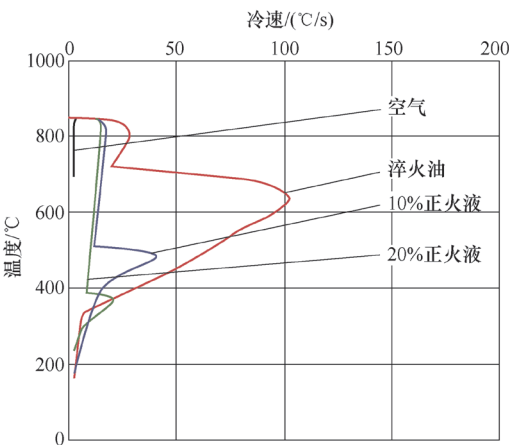


图3 正火液与空气、淬火油液冷却特性曲线

试验过程

1.试验材料

试验所用材料为20CrMnTiH，其化学成分见表1。试验工件最大有效厚度如图1和图2所示。

表1 20CrMnTiH材料化学成分 (质量分数：%)

C		S		Si		Mn		Cr		Ti	
技术要求	化验结果	技术要求	化验结果	技术要求	化验结果	技术要求	化验结果	技术要求	化验结果	技术要求	化验结果
0.18~0.23	0.21	≤0.35	0.022	0.17~0.37	0.22	0.8~1.1	0.79	1.0~1.3	0.46	0.04~0.1	0.022

2.试验设备

采用额定功率为450kW的中频感应电源加热，采用立式辗环机成型，锻造成型结束后，保证工件终锻温度为900~950℃；采用正火槽进行冷却，水槽容积约13.5m³，配有二个变频搅拌电动机；采用数显布氏硬度计进行硬度检测；采用金相显微镜进行金相组织观察。

3.试验方法

在正火槽内配制19%浓度（质量分数）的正火液，槽体尺寸：3m×2.5m×1.8m，加自来水至液深1.2m，然后加入9桶KR1280原液，再加自来水至液深1.5mm，槽液浓度为19%。

最大冷却速度约20℃/s。工件通过滑道，直接浸入KR1280正火槽冷却，通过调整网带的提升速度，控制出液温度为650~750℃，随后在保温筐中进行缓

慢冷却到室温，再装入等温正火线中以780℃等温3h，削除组织内应力，不需再进行常规的正火处理，控制工件硬度就能保证在机加工范围技术要求（160~195HB），直接进行机加工。

4.实验过程工艺

(1) 从齿毛坯 参数如下：

P27 被齿齿坯材料：20CrMnTiH，

始锻温度：1060~1080℃；

终锻温度：900~950℃；

提升链板电动机频率：12Hz；

齿坯锻后控冷+高温回火工艺路线如图4所示。

20CrMnTiH 被齿毛坯经过终锻结束后，直接浸入19%KR1280匀速冷却介质中冷却42s（通过调整提升链板的电机频率实现）后，冷至650~750℃出液，随后在保温筐中进行缓慢冷却到室温，再放入等温正火炉

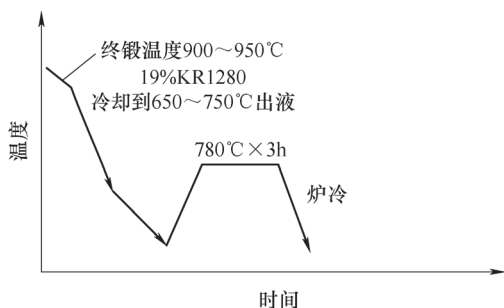


图4 被动齿轮毛坯锻后控冷+高温回火工艺

中，进行780℃保温3h，消除内应力，均匀硬度，最终获得铁素体+球状珠光体组织。

(2) 主齿毛坯 参数如下：

P27 主齿坯材料：20CrMnTiH；

始锻温度：1080~1100℃；

终锻温度：960~980℃；

提升链板电动机频率：8Hz；

齿坯锻后控冷+高温回火工艺路线如图5所示。

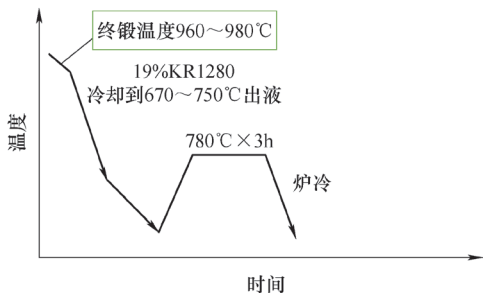


图5 主动齿轮毛坯锻后控冷+高温回火工艺

20CrMnTiH 主齿毛坯经过终锻结束后，直接浸入19%KR1280 匀速冷却介质中冷却46s（通过调整提升链板的电动机频率实现）后，冷至 650~750℃出液，落入保温料框内空冷。随后在保温筐中进行缓慢冷却到室温，再放入等温正火炉中，进行 780℃保温3h，消除内应力，均匀硬度，最终获得铁素体+球状珠光体组织。

结果与讨论

1. 硬度检测

检测试样由实验工件毛坯切割而成，有效厚度15mm。试样经磨、抛后，采用数显布氏硬度计（HB—3000B型）检测高温回火后的硬度，并与常规正火空冷硬度进行对比，硬度检测结果见表2。

表2 常规等温正火与控冷工艺毛坯硬度对比
(单位：HB)

主齿（常规等温正火）	156、154、158
主齿（780℃等温 3h）	172、174、179
被齿（常规等温正火）	160、161、165
被齿（780℃等温 3h）	182、181、186

对于20CrMnTiH 齿坯，常规等温正火，锻后采用19%KR1280 冷却，控制出液温度至 650~750℃，在保温筐中进行缓慢冷却到室温，再进行780℃等温 3h，主齿硬度比普通正火硬度高20HB左右，被齿硬度比普通正火硬度高21HB左右，有效地改善了机械加工的切割性能。

2. 金相组织检测

检测试样由实验工件毛坯切割而成，有效厚度15mm。试样经磨、抛后，采用金相显微镜观察，并与常规正火空冷金相组织进行对比，金相照片如图6和图7所示。主齿控冷工艺650~750℃出液，冷至室温，780℃等温3h金相组织，金相照片如图8所示。被齿控冷工艺650~750℃出液，冷至室温，780℃等温3h 金相组织，金相照片如图9所示。

对于20CrMnTiH 材质的主被齿毛坯，采用常规等温正火处理，加热温度为940℃，等温温度为520℃，

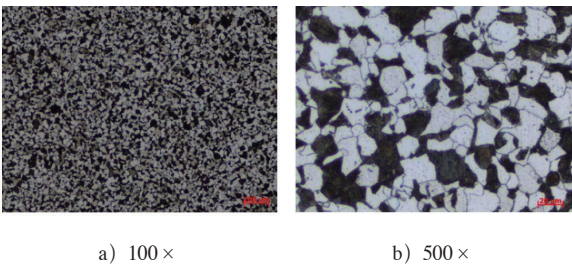


图6 P27主齿常规等温正火金相组织

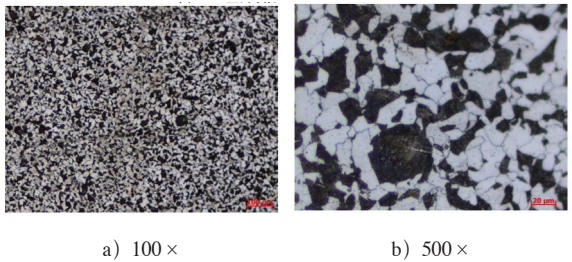


图7 P27被齿常规等温正火金相组织

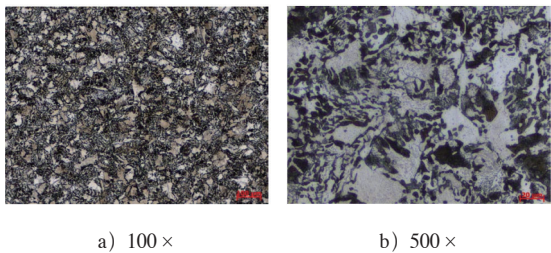


图8 P27 主齿控冷工艺金相组织

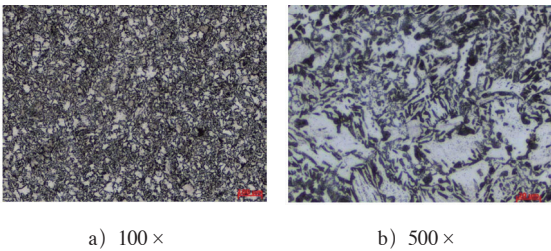


图9 P27 被齿 控冷工艺金相组织

处理之后，主齿、从齿金相组织均为：正火状态的晶粒比较均匀的片状珠光体+铁素体组织铁，晶粒比较细小。

对于20CrMnTiH 主被齿毛坯，终锻结束后，迅速转移至 KR1280 正火液中冷却，冷至 650~750℃出液，在保温料框中冷却至室温，随后在等温正火线上采用780℃等温3h，金相组织为铁素体+珠光体，部分珠光体呈球状。

机加工后质量检测

正火之后毛坯经机械加工后齿轮齿面质量情况见表3。

表3 正火之后毛坯经机械加工后齿轮齿面质量情况

项目	正火工艺	主齿齿面质量		被齿齿面质量	
		凸面	凹面	凸面	凹面
精度/级	普通等温正火	5	6	5	6
	锻后控冷	5	6	6	5
表面粗糙度/ μ m	普通等温正火	1.95	2.35	2.03	2.50
	锻后控冷	1.87	2.30	1.96	2.48

采用 KR1280 正火液锻后控冷，主、被齿机加工精度 5~6 级，满足技术要求（≤6 级），表面粗糙度值较小，主从齿凸面表面粗糙度值比常规等温正火后切齿的表面粗糙度值低0.05 μ m左右。被齿切齿后，工件齿面粗糙度与普通正火工艺基本相当。

结语

1) 19%浓度的正火液冷却速度远大于空冷，工件在冷却过程中，可快速通过两相区（Ar3~Ar1），抑制先共析铁素体相析出，提高了组织中索氏体含量。

2) 工件经控冷工艺：正火液冷却、高温回火后，正火硬度比普通等温正火工艺正火后硬度高20HB左右，提高机械加工的切削性能。

3) 节约能源，采用19%浓度的正火液控冷工艺后，省掉了等温正火的加热工艺过程，可节约电能约300kW·h/t，节约成本250元/t。

AUTO1950

