

低压真空渗碳线的齿圈变形解决方案

长安福特汽车有限公司变速器工厂　杜永均

目前，在国内的自动变速器生产企业主要采用低压真空渗碳线来进行齿轮的渗碳和淬火，低压真空渗碳线基本可替代传统的气氛渗碳自动线。通过灵活配置渗碳加热室和淬火室的数量来满足产能和节拍的需求，并能够整合清洗、预氧化和回火等工序形成一条自动化程度很高的热处理生产线，操作工只需上料和下料，实现快速的热处理生产。

1. 低压真空渗碳工艺过程

低压真空渗碳通过预抽真空，零件在加热室中被加热到奥氏体化以上温度并保温一段时间后，往加热室中通入富化气体，并吹扫气体，通过控制气体的流量和时间以及加热室的真空度，来最终得到需求的渗碳或碳氮共渗层深。加热后在真空状态下转移到真空淬火室，使用高压氮气进行淬火冷却。与传统工艺相比，ECM的低压真空渗碳系统（见图1），通过CBPWIN软件可对富化气脉冲流量、通入时间及扩散时间进行精确控制，并能够进行气体工艺模拟和工艺的自动生成，大幅降低生产的气体辅料消耗，使得气体工艺可精确定量化设定。淬火过程中，淬火气体压力可调，通过使用变频电动机带动气体淬火搅拌风扇，可同时实现冷却速度的调节。

2. 自动变速器齿圈变形问题

齿圈的渗碳淬火工艺参数见表1、表2。经过热处理后，齿圈热处理变形参数要求见表3。

按照公司标准，经过工艺试验，抽取了30件零件进行检测，发现热处理前后零件变形超出要求，检测数据见表4。这一变形检测结果是不可接受的。

3. 热处理变形的原因分析

齿圈的材料是20CrMn钢，在从室温加热到渗碳温度

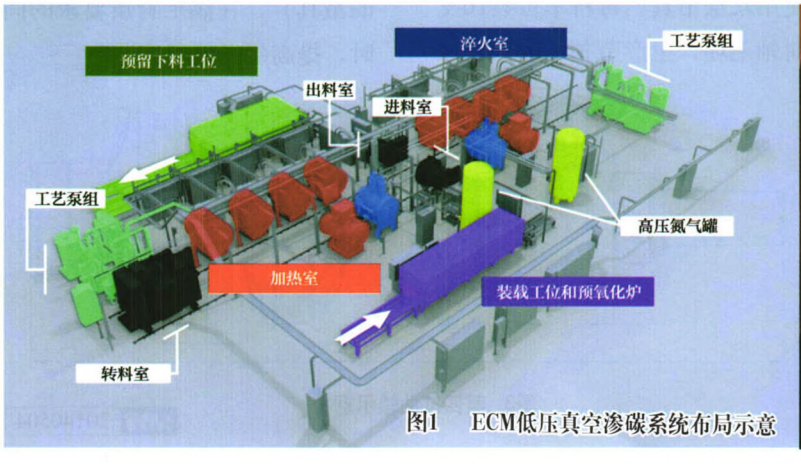


图1　ECM低压真空渗碳系统布局示意

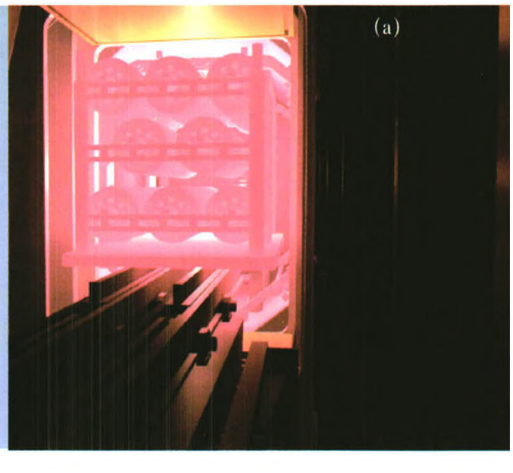


表1 渗碳加热工艺

参数项目	数值
渗碳温度/℃	920
加热和均温时间/min	80
真空度/Pa	1000～2000
强渗和扩散时间/min	48
富化气流量/NL·h^{-1}	2000

表2 淬火工艺

参数项目	数值
风扇转速输出比（%）	50
输出时间/s	11
搅拌停留时间/s	0
风扇转速输出比（%）	50
输出时间/s	110
风扇转速输出比（%）	85
输出时间/s	200
风扇转速输出比（%）	100
输出时间/s	159

表3 齿圈变形检查参数（mm）

参数	热处理前后变形量的要求
DOB中径跨棒距	0.100
齿顶圆直径	0.100
齿根圆直径	0.100

920℃，再从淬火温度920℃进行快速的淬火冷却到室温，加热和冷却过程中伴随着热应力和组织应力的综合作用产生变形。

在齿圈低压真空渗碳时，加热和均温时间为80min，加热等待温度在850℃以上，通过对过程曲线的分析，可知加热功率有足够的稳定时间，因此变形的主要来源应来自冷却过程。经过渗碳后，齿圈表层会形成0.4～0.5mm的共析和过共析层，该层以下仍然保持材料的基体组织，齿圈的各个部位在淬火冷却时组织转变也存在差异，表层获得马氏体的能力要强于次表层。为了获得足够的淬硬层深度，需要淬火开始时具有较快的冷却速度，当温度低于马氏体临界转变点温度时，需要降低冷却速度，从而使零件各个部位温度差异尽可能缩小，减少各个部位转变差异带来的变形。试验齿圈变形较大的主要原因是淬火冷却时，当温度低于马氏体临界转变点温度时冷却速度仍较大。

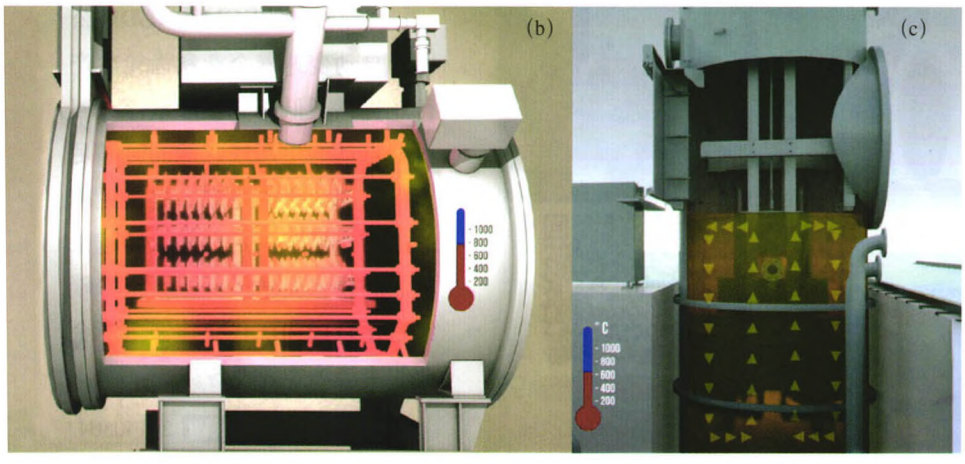
4. ECM低压真空渗碳线热处理变形解决方案

应通过优化淬火冷却工艺，来减少齿圈在淬火冷却时的变形。ECM的淬火室配备了变频电动机，可在不同的时间段，通过程序设置达到不同的转速，从而实现淬火冷却速度的可调节。

借鉴普通气氛渗碳淬火连续炉的等温油淬工艺冷却原理，我

表4 变形参数检查结果（mm）

DOB中径跨棒距	齿顶圆直径	齿根圆直径
0.076	0.059	0.022
0.078	0.078	0.036
0.067	0.065	0.028
0.123	0.062	0.017
0.066	0.070	0.030
0.114	0.055	0.016
0.064	0.064	0.033
0.074	0.071	0.036
0.066	0.067	0.030
0.082	0.081	0.044
0.077	0.073	0.036
0.126	0.110	0.077
0.073	0.078	0.044
0.088	0.063	0.027
0.099	0.060	0.020
0.074	0.074	0.040
0.087	0.084	0.049
0.091	0.086	0.051
0.069	0.070	0.035
0.073	0.074	0.032
0.094	0.078	0.044
0.065	0.065	0.029
0.093	0.062	0.025
0.088	0.091	0.058
0.071	0.063	0.028
0.053	0.098	0.010
0.067	0.063	0.025
0.082	0.080	0.045
0.070	0.073	0.033
0.054	0.079	0.040



手机扫描二维码，收看ECM低压真空渗碳生产线视频


ECM低压真空渗碳线

们开发了氮气淬火的等温气体淬火工艺。在原有的淬火工艺上，增加淬火搅拌停留时间23s，相当于淬火搅拌风扇停止运转，冷却速度会有一个较快的下降，23s后重新启动淬火搅拌风机，完成淬火冷却。

经过试验，从抽取的30件零件的检测结果可发现，零件变形的不合格数量消失，同时30件零件的变形量相比淬火工艺变化前有较大幅度的降低。但同时我们发现抽检的零件，金相组织出现了淬火不合格组织，齿圈齿顶部位出现了较多的非马氏体组织，同时有沿晶界析出的碳化物出现。

通过金相分析，淬火冷却过程出现了非马氏体，如贝氏体和珠光体以及碳化物。通过冷却C曲线的分析，判定是齿圈冷却曲线碰到了贝氏体转变开始线，结合我们制订的淬火工艺，发现应是搅拌停留时间过长的缘故。碳化物的析出和珠光体的产生主要集中在齿顶表面，这主要是齿顶冷却比齿轮心部快，当冷却出现碳化物析出后，淬透性降低，就会出现珠光体的转变。

对淬火工艺再次进行优化，缩短淬火搅拌停留时间，通过多次试验，将淬火搅拌停留时间从23s缩短至18s，使淬火冷却曲线远离贝氏体转变开始线，最终获得了较为理想的变形结果和金相组织，如图2所示，冷却曲线由红线转变为绿线。再次抽检30件热处理后的齿圈，检测热处理前后变形数据，变形量减小0.05mm以上，获得较好效果。

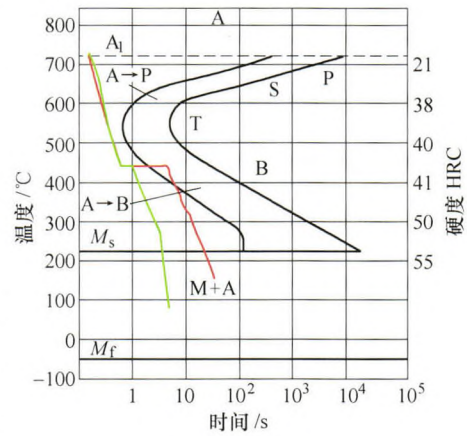


图2 淬火冷却曲线

5. 使用成果

气体等温淬火工艺普遍应用于公司内各种大直径薄壁复杂零件的热处理，获得了很高的质量保证能力。相比普通的油淬，既能获得较好的淬硬能力，又能很好地控制零件变形。

国际知名的ECM和ALD等公司为自动变速器企业和齿轮生产行业提供了低压真空渗碳淬火回火全自动的生产线，能同时满足大批量高效率的生产，提供更高的生产质量来满足汽车市场越来越高的技术要求。低压真空渗碳线也逐渐成为现代变速器生产企业的主流热处理设备。

MW 20140504


手机扫描二维码，关注ALD低压真空热处理生产线