

汽车齿轮表面脱碳的影响及工艺改进

□ 合肥市建元机械有限责任公司/金林奎¹ 赵建国³ 王春亮⁴
□ 合肥美桥汽车传动及底盘系统有限公司/焦东风²

本文对汽车齿轮热处理渗碳件轮齿表面出现较严重的脱碳现象进行检查分析。检测结果表明，组织中大量条状及块状铁素体，使硬度分布不均匀并形成软点，齿轮啮合的承载能力降低，而且影响齿轮表面的耐磨性。通过对20CrMnTi低碳合金渗碳钢齿轮从坯料的齿坯成形、中间退火处理到最后渗碳淬火的整个热处理过程，进行检查和工艺改进。解决了渗碳淬火硬度不均匀、渗层梯度不合理的问题，最终满足了汽车齿轮的使用要求。

汽车齿轮是汽车高速运行的传动件，由于在高速下运转，齿轮表面的啮合部位必须具有较高的强度和耐磨性，齿根部位的抗弯曲疲劳的强度要求也非常高。工件表层必须具有较高的强度，心部具有较高的韧性。这就需要对齿轮产品进行表面渗碳的淬火处理，提高工件表面强度和耐磨性，同时增加心部的强韧性，只有这样才能达到工件的性能和使用要求。

齿轮表面脱碳问题分析

在实际生产过程中发现，轮齿截面齿廓的次表层，出现一层大块状铁素体的白亮层。这种缺陷组织对齿轮产品的性能和使用要求影响非常大。这是由于渗碳淬回火热处理之前，齿轮表面产生氧化脱碳层引起的。钢制零件在锻造或热处理过程中，空气



金林奎
高级工程师，中国机械工程学会高级会员，《热加工工艺》特约编委，主要从事金属材料失效分析及工艺改进研究，发表国家级论文30余篇。现任职合肥市建元机械有限责任公司质量总监。

及氧化性气氛与热处理炉内高温气氛作用，零件表面失去部分或全部碳原子，从而使零件表面的含碳量，低于材料基体含碳量。工件表面碳含量减少的区域称脱碳层，其深度称为脱碳层深度。从锻造加工、等温退火及渗碳热处理等方面着手，有效控制脱碳层深度，可保证冷挤压过程产品的质量，以及后期热处理最终产品质量。

为满足市场需求，提高齿轮的精度等级，半轴齿轮采用冷挤

压加工工艺。在齿轮冷挤压加工成形之前，需要对半轴齿坯进行两次等温退火处理。在等温退火处理过程中，如果炉内保护气氛不规范，将会带来半轴齿轮表面的增碳。齿轮表层碳增加，会影响工件表面的延展性，造成冷挤压加工折叠及裂纹。当炉内气氛的碳势较低时，齿轮表面形成脱碳的机会很大，极易造成轮齿表层的氧化脱碳层。对于解决齿轮产品表面增碳，我们已经形成了成熟的热处理工艺，并在正常生

产过程中得到控制。

金相检测

对渗碳淬回火后行星半轴齿轮进行检查，发现齿轮齿顶下的渗碳层内，分布大量块状铁素体的异常组织。进一步检测金相组织，外表层组织为细针状高碳马氏体及少量残余奥氏体，经显微硬度检测，该处硬度为61.0HRC和61.5HRC，金相组织和硬度值都在合格要求范围内。渗层内的第二层，组织显示高碳针状马氏体及大量块状铁素体，该处硬度为28.0HRC和29.0HRC，金相组织和硬度值都不能满足范围要求。轮齿的心部组织为均匀分布的低碳板条状马氏体，该处硬度为42.0HRC和42.5HRC，能够满足标准范围要求。

在半轴齿轮的渗层内出现低硬度异常的组织，严重影响工件的使用性能。针对这个问题，我们采用了多种方法，对渗碳淬回火后的产品进行复处理，始终无法完全消除这种缺陷组织。因此一旦在齿轮的表层及次表层存在大量块状铁素体组织，该齿轮产品将会报废，由此造成的直接经济损失非常严重。

工艺分析

渗层内分布大块状铁素体的组织，这种缺陷产品将会带来严重后果。首先显著降低齿轮表面的耐磨性，轮齿表面在啮合时，短时间就会发生粘着和胶合，由于摩擦阻力的作用产生温升，使齿轮表面的硬度降低，进一步降低轮齿表面的耐磨性，工件的使

用寿命显著缩短。

通过质量统计和分析，发现只有冷挤压产品在渗碳热处理后，出现次表层硬度偏低的现象，而热加工锻造产品基本上没有。冷挤压加工工艺流程为原材料→下料→金属加工→等温退火→磨削加工→等温退火→冷挤压预成形→冷挤压成形→金属加工→渗碳淬回火→精加工→成品。热加工锻造工艺流程为原材料→下料→金属加工→热锻加工→金属加工→渗碳淬回火→精加工→成品。对两种工艺流程进行对比和分析，发现在冷挤压过程中多了两道等温退火工艺。

对热处理之前的冷挤压锻件进行金相组织检查，较多的齿轮产品表面存在脱碳现象，而且脱碳层深度深浅不一。对等温退火处理后的锻坯，随机抽取了5个样件进行检查。检查结果显示，锻坯表面都有不同程度的氧化脱碳层。在工件等温退火处理之前，锻坯棒料外圆已经过5mm以上的切削加工，因此可以确定，

齿轮表层脱碳层是在等温退火处理过程中产生的（见表1）。

工件表面脱碳层的形成，是因为加热时工件表面与周围气氛发生氧化而生成。脱碳的过程实际上是钢件内部的碳向外界扩散的过程。由此可见，脱碳层的产生是轮齿截面齿廓的次表层块状的白亮色铁素体层的主要原因。冷挤压锻坯的脱碳层越深，渗碳淬回火后淬硬层内铁素体分布就越多，而且分布区域越宽，对产品的使用性能及寿命的影响就越严重。冷挤压锻坯的等温退火工艺，是采用井式炉加热保温，滴加少量的甲醇作保护气氛，甲醇高温分解析出的活性碳原子，由材料表面向内扩散。活性碳原子向内扩散的速度，大于材料内部的碳原子向外扩散的速度，锻坯就不会产生脱碳。由于井式炉的密封性能较差，炉内不能保证活性碳原子向内扩散的压力，而且富含氧的空气，随炉内的气氛循环进入井式炉内，增加工件表面的氧化脱碳程度。

表1 冷挤压锻坯脱碳层深度检查统计

样件编号	1"	2"	3"	4"	5"
产品名称	行星齿轮	半轴齿轮	半轴齿轮	依维柯行星齿轮	依维柯半轴
脱碳层深度/mm	0.50	0.40	0.35	0.25	0.10

备注：将样件完全退火后，进行脱碳层的金相组织测量（见图1）。

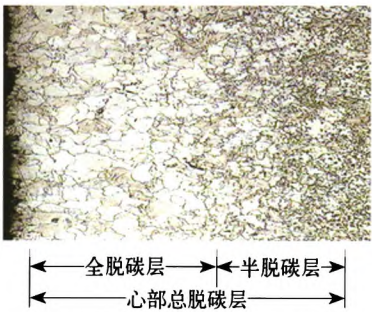


图1 完全退火金相组织（80X）

试样经渗碳热处理淬回火，进行金相组织及有效硬化层深度检测。有效硬化层深度的硬度梯度曲线如图2所示。齿轮锻坯的脱碳层越深，渗层内分布的块状铁素体组织越多，铁素体带宽度越长，在渗层内的硬化层深度梯度越陡。

技术改进

原等温退火设备采用的井式炉，由于密封性能差，炉温分布不均匀，工件表面脱碳层难以消除，无法保证齿轮锻坯产品的表面质量。经过多次论证后，改用自动控制的多用箱式炉进行齿轮冷挤压锻坯的等温退火处。多用箱式炉配备反馈控制系统和程序控制系统，炉气成分压力稳定性得到保证。不但可以提高加热设备的节能性能，炉膛整体的密封性能，炉温的均匀性。而且能够保证炉内碳势完全可以控制，避免了工件表面脱碳层的产生。

为了确保冷挤压坯料加工成形，工件的基体硬度值不能高于83HRB的洛氏硬度。因此工件表面在不允许严重脱碳的同时，还不能发生增碳现象。对于增碳现象的问题，已经形成了成熟的加工工艺及质量控制系统。少量的脱碳对渗碳淬回火过程影响不大，经多次反复试验确定，冷挤压坯料的脱碳层深度必须控制在0.15mm以下。这样的冷挤压坯料经热处理加工成形后的齿轮产品，基本上消除渗层内块状铁素体的缺陷组织。

为了进一步提高齿轮冷挤压坯料的表面质量，在使用气氛自动控制的多用箱式炉基础上，试采用先进的脉冲换气真空电阻炉，对齿轮冷挤压坯料进行等温退火处理（见图3）。同时对甲醇等保护气氛介质的质量严加控制，并采用真空并且充氮换气的方法，杜绝了冷挤压坯料的表面脱碳层现象。

表2 冷挤压锻坯渗碳处理后检查统计

试样编号	产品名称	次表层铁素体量	铁素体带宽度/mm	硬度梯度曲线
1*	1行星	50%左右	0.35	见图2
2*	2半轴	30%左右	0.25	
3*	3半轴	10%左右	0.15	
4*	4行星	5%左右	0.10	
5*	5半轴	2%以下	不明显	

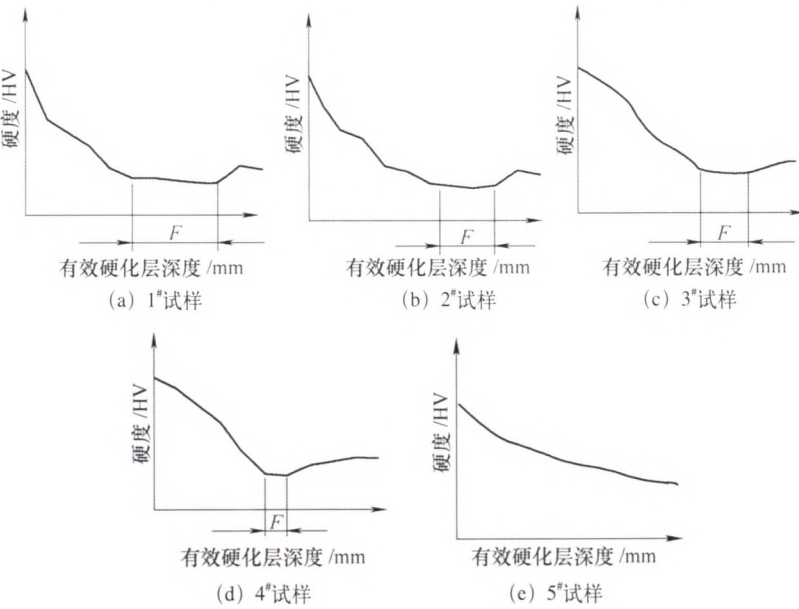


图 2

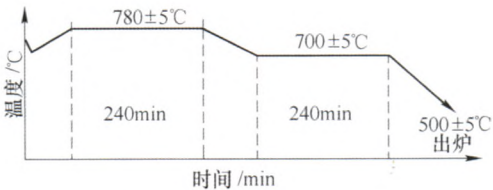


图3 半轴坯料退火工艺 半轴坯料退火工艺

验证效果

齿轮产品经过工艺试验和理化检测合格后，进行批量生产加工，热处理过程控制的检测结果表面，渗层内的块状铁素体组织完全消除。而且冷挤压坯料表面质量也得到了很大的提高，坯料的折叠、皱折、缺料等表面缺陷的发生机率，由原来的0.8%降低为0.2%，明显提高了产品的合格率。

由于及时对缺陷的产品进行分析和重新工艺试验，并采用了积极有效的防范和改进措施，齿轮产品的质量得到大幅度的提升。2012年6月~2013年底，经过近一年半时间的实际生产运行，产品质量一直都保持稳定。据生产部门统计，从开始实施新工艺到目前为止，为公司增加经济效益达200多万元。这项改进的新工艺，得到多家大型配套厂家的认可和赞同。AME