

■北京北齿有限公司/韩丕伟

内花键齿轮热处理变形控制

我公司是从事汽车变速器和前后桥齿轮加工的专业生产企业，其中生产带有内花键的齿轮共计十多个品种，其中包括255变速器的中五挡齿轮、出口意大利的两种齿轮和最近开发的出口爱科公司的十余种齿轮。这些产品在加工过程中，时常会在热处理渗碳淬火后，工件变形出现超差。在后续切削加工工序测量齿轮跨棒距时，跨棒距超出要求的范围；或用综合塞规检测时，塞规不能通过；用大径心轴测量花键底径时，出现锥度心轴通不过或完全穿进去的质量问题。面对此种情况，公司在加大原材料的控制力度、优化冷热加工工艺的同时，着重对此类齿轮热处理的生产过程进行系统分析和探讨，找到了减小齿轮热处理变形的措施，在生产中取得了良好的效果。

原材料对变形的影响和控制

齿轮用钢的冶金质量，不仅影响到齿轮的力学性能，特别是对其疲劳性能影响很大，也对齿轮的制造过程中的冷、热加工性能起到关键作用。

1. 化学成分

齿轮用钢中的含碳量及合金元素的化学成分应符合国家对汽车齿轮用钢的规定。钢材的含氧量 $w_o < 0.002\%$ ，钢材的化学成分允许偏差应符合国标有关规定，其中铝元素允许偏差为 $\pm 0.005\%$ ，硫元素允许偏差为 $\pm 0.005\%$ 。

2. 钢材冶炼方法及交货状态

齿轮钢材的冶金质量中以钢材的纯净度、淬透性

及原始组织尤为重要。影响钢材纯净度的主要因素是含氧量，真空脱气冶炼对净化钢材有明显的效果。我公司钢材的冶炼方法选用电炉或转炉冶炼，并经真空脱气处理，钢材以热轧缓冷状态交货，交货硬度以200~220HBW为最佳。

3. 钢材的低倍组织

齿轮用钢的低倍组织中，横截面经过酸浸后，其低倍组织试片上不能有目视可见的缩孔、气泡、裂纹、夹杂、翻皮、白点以及残余枝晶等缺陷。具体的酸浸低倍组织依据国标的规定：中心疏松、一般疏松和锭型偏析三种类型的级别不应大于2级。

4. 夹杂物

在高强度状态下，齿轮用钢的疲劳强度，随着非金属夹杂物含量的增多而迅速减小，同时也随着夹杂物（主要是氧化物）尺寸的加大而降低，并且随着钢的强度提高，夹杂物使钢的疲劳强度降低的幅度增大。钢中非金属夹杂物分为硫化物类（A类）、氧化铝类（B类）、硅酸盐类（C类）、球状氧化物类（D类）和单颗粒球状类（Ds类）五类，我公司钢材所选用的级别符合表1所示的规定。

表1 钢材非金属夹杂物选用级别

类别	A		B		C		D		Ds类
	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	
级别	≤2.0	≤1.5	≤2.0	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5	≤1.5

5. 晶粒度

钢的奥氏体晶粒度是金属材料中重要的组织参

数，对钢淬火开裂和畸变倾向有很大影响。细小均匀的奥氏体晶粒，可以有效稳定齿轮用钢的淬透性，并且减小热处理变形，特别能提高渗碳钢的抗脆断能力。晶粒度的等级共分15级，其中，1~5级是粗晶粒，6~15级是细晶粒。晶粒度越大，钢的淬火开裂和畸变倾向越大。我公司对钢材的奥氏体晶粒度级别规定是6~10级为合格（渗碳法）。特别要指出，钢材如有混晶现象发生，钢的结构强度会剧烈降低，应力集中区变脆。所以，选用钢材时要杜绝混晶现象发生。

6.带状组织

带状组织是钢锭在凝固过程中形成枝晶偏析，而在轧制过程中辗成。该种带状组织特别容易形成严重的混晶，同时，钢材成分的偏析会形成不均匀的淬

火马氏体、残余奥氏体及不同的有效硬化层和硬度。带状组织严重时，致使钢材切削性差，热变形波动大。我公司钢材试样在正火后的带状组织规定≤2级。

7.末端淬透性

钢材的末端淬透性主要决定于其化学成分。钢材的淬透性主要包含两方面的内容：钢材的淬透能力和淬透带的宽度。钢材的淬透能力主要是保证不同大小齿轮的心部硬度，从而满足齿轮接触疲劳强度和弯曲疲劳强度的要求；尽可能小的淬透带宽度，非常有利于齿轮热处理变形的控制，特别是对批量生产的齿轮显得尤为重要。新修订的GB/T 5216标准中，淬透性带宽已从原来的12HRC缩小到8HRC。经过试验验证，我公司常用的一种钢材SAE8620H的热处理规范及末端淬透性满足表2所示的规定。

表2 钢的末端淬透性

热处理工艺					末端淬透性值（HRC）			
正火温度/℃	保温时间/min	淬火温度/℃	保温时间/min	冷却方法	分类	J6	J9	J15
930±10	60（空冷）	925±5	30	水冷	i 组	36~43	29~35	24~30
					ii 组	29~36	25~31	21~27

锻造和正火对变形的影响和控制

1.齿轮的锻造及残余应力

齿轮毛坯多采用锻造成形，其优点是锻件内部致密且组织比较均匀，锻造流线对称、锻后冷却均匀，其性能高于铸件及焊接件；缺点是需要较大的变形力，从而使齿轮毛坯经锻造后残存一定的锻造应力。

为了提高金属塑性，降低变形抗力，在锻造前对金属进行加热，从而使金属获得良好的锻后组织。正确的加热规范应当考虑到金属在加热过程中组织的变化，不产生或少产生氧化、脱碳、过热、过烧及内部裂纹等缺陷。若高于始锻温度，锻件易产生过热、过烧的质量问题；若低于终锻温度，则钢材塑性显著降低易造成齿坯裂纹。

2.齿轮的正火及控制

正火主要分为普通正火和等温正火。普通正火工艺受到炉温均匀性、装炉方式和冷却速度不一致等因素限制，工件的组织 and 硬度很难达到均匀一致。等温正火对控制齿轮淬火变形的一致性有很好的效果。

(1) 正火温度 选用原则上，正火温度要高于后续的热处理工艺温度，这样可有效地控制热处理变形。我公

司齿轮用钢选用的SAE8620H钢材，正火温度为930℃。

(2) 正火保温时间 为了充分消除锻件的残余应力，细化晶粒，使钢件的切削加工性能提高，并且降低齿轮在后续热处理过程中的淬火变形，正火需要一定的保温时间。我公司齿轮用钢选用的SAE8620H钢材，正火保温时间1h。

(3) 正火后的冷却速度 控制正火后的冷却速度是为了控制正火后齿轮的硬度，得到比较均匀的正火组织和晶粒度，改善钢件的切削加工性能。我公司齿轮用钢选用的SAE8620H钢材，正火后的冷却方式根据季节调整，毛坯出炉后，夏季采用轴流风机吹风，加大冷却速度；冬季将出炉毛坯移入地坑中，降低冷却速度。通过这样的方式来控制锻件的硬度。

我公司齿轮用钢为SAE8620H，毛坯分别采用普通正火和等温正火工艺。结果表明，同一炉工件，采用等温正火工艺，正火硬度的散差由普通正火的39HBW改善到14HBW左右。采用等温正火后，工件正火硬度及其均匀性都得到了提高。

内花键齿轮热处理变形特性及控制

以我公司出口意大利的内花键齿轮66100301为

例,简述该类齿轮在热处理渗碳淬火过程中,变形产生的原因及生产阶段所采取的控制措施。

该齿轮材料为SAE8620H,外圆直径200.3mm,内花键大径50mm。内花键齿轮参数:齿数24,模数2mm,压力角30°,棒间距42.433~42.515mm,量棒直径3.5mm。热处理要求:有效硬化层深0.8~1.0mm,表面硬度58~62HRC,心部硬度30~45HRC。

1. 渗碳工艺

齿轮渗碳淬火过程中,由于齿轮装炉方式不当、渗碳温度过高以及齿轮渗碳组织中的碳化物分布不良等原因引起的变形,在淬火过程中不但难以修复并有增大的趋势。

因此,对带有内花键的齿轮,在传统渗碳工艺的基础上,采取了如下改进措施:

(1) 装炉方式 传统的平装叠压方式,由于齿轮接触面积较大,使炉内各工件温度的均匀性和渗碳气氛的流动性降低。通过试验验证,将平装叠压改为悬挂式装炉,保证了各工件温度的均匀性、渗碳气氛的流动畅通,工件不叠加,从而使齿轮两端面渗层较均匀,表面碳浓度一致性较好。

(2) 渗碳温度 热应力是由齿轮内外温度差异造成的,温差越大,热应力也越大,齿轮变形也越严重。因此,在选择齿轮渗碳温度时应遵循的原则是:在保证合理的渗碳速度前提下,应尽可能采用较低的渗碳温度。我公司该齿轮用钢选用SAE8620H,渗碳温度为930℃。

(3) 渗层深度和碳势控制 由于齿轮在渗碳过程中,表面碳浓度和渗层深度对渗层组织结构产生影响。渗层越厚,淬火时组织应力会越大,使变形也增大,而且渗碳组织中,异常碳化物的分布也会使齿形、齿向的变化增大,所以在保证齿轮使用条件的前提下,有必要将渗碳层深度控制在合理的范围内。

据文献资料显示,渗碳齿轮表面合理碳浓度为0.85%~1.05%,淬火后齿轮的各项性能指标匹配最佳。因此,将强渗阶段炉内碳势 C_p 设定为1.05%,扩散阶段碳势 C_p 设定为0.80%~0.85%,从而齿轮渗碳层的最高含碳量被设定为0.85%~0.95%,同时,渗碳组织中碳化物级别控制在4级以内。经二次加热压床淬火处理后,齿轮获得了良好的综合力学性能。

2. 淬火处理

淬火作为齿轮的最终热处理工序,是保证齿轮热处理质量至关重要的工序。采取以下措施可控制热处理淬火变形。

(1) 淬火温度的选择 渗碳淬火温度越高,在淬火过程中产生的组织应力越大,变形也越大。所以,为减小变形,选择淬火温度时,要保证渗层中不出现非马氏体组织,在保证工件硬度的前提下,尽量选择较低的淬火温度。该齿轮选用SAE8620H钢材,淬火温度为840℃。

(2) 保温时间的选择 二次加热采用转底炉进行,保温时间的选择以奥氏体转变完全、齿轮表面和心部温度一致为原则,为了节约能源,选择下限保温时间。

(3) 淬火变形的控制 由于该齿轮是带有内花键的齿轮,淬火时主要是防止齿轮花键孔的过度收缩,采用淬火压床进行齿轮淬火操作。所以,选用直径合适的淬火心轴来控制淬火时花键孔的变形是非常必要的。

经过多次试验,摸索出淬火心轴的尺寸应该比花键拉刀小径稍大,具体胀出量取决于花键孔的绝对尺寸大小。由于该齿轮花键孔厚度为50mm,并且一侧有凸出的部分,使花键孔的壁厚有很大差别,壁薄的一侧淬火时收缩较大,通过测量孔两端的跨棒距,可以计算出花键孔的锥度,通过将心轴磨制成反向锥度,可解决花键孔的锥度问题。在采用压床淬火过程中,可以对齿轮的平面加以脉动间歇式压力,既能保证齿轮淬火时对平面度的要求,同时,采用脉动间歇式加压的工作方式,使工件淬火应力得到充分释放,保证工件的各项技术指标都达到产品图样的要求。

结语

综上所述,影响内花键齿轮热处理变形的因素很多,且其中很多因素相互影响,很难有效控制,给汽车齿轮加工行业带来了诸多难题。正火处理作为齿轮加工的预先热处理,在齿轮加工过程中起着至关重要的作用。并且,有效控制正火的质量,将直接影响到齿轮最终热处理变形的大小和产品质量的高低。

关键词:

内花键齿轮 热处理 变形 控制

(收稿日期20121207)