

提高压淬从动弧齿锥齿轮合格率的措施

□ 江苏双环齿轮有限公司 郝丰林



郝丰林 高级工程师

我公司是一家专业生产汽车齿轮、摩托车齿轮、电动工具齿轮、工程机械齿轮的股份制企业。汽车后桥主从动弧齿锥齿轮是汽车动力传递的关键部件之一，为提高其承载载荷和使用寿命，选用合金元素含量较高的低碳合金钢，采用的材料为22CrMoH、19CrNi5H、20CrMnTiH、17CrNiMo6等材料。采用爱协林双排线渗碳，对于厚度较薄、尺寸较大的从动齿

轮采用压床淬火，对于不易变形的产品采用专用工装自由淬火。采用格里森Phoenix@600HC型、Phoenix@280HC型锥齿轮铣齿机，采用格里森650GMM型齿轮分析检测系统可以进行测试和完成检测，格里森600HTT型滚动

检测机，对于这些硬件可以保证弧齿锥齿轮的开发。

1. 问题引出

下面分别对一套弧齿锥齿轮开发过程出现的问题进行讨论。

图1为某客车后桥从动锥齿轮简图，表1为其技术要求。

该产品生产流程：锯床下料→中频炉加热→空气锤拍扁→辗环扩孔→摆辗→推盘炉等温正火→粗车→高温回火（520℃×2h）→精车→铣齿→热处理（预氧化→加热1区→加热2区→渗碳1区→渗碳2区→扩散区→预冷区→保温区→压淬恒

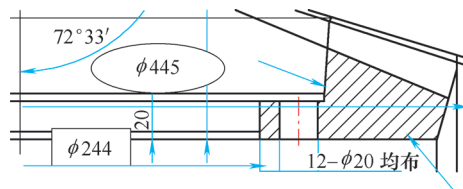


图 1

表1 22CrMoH从动锥齿轮热处理技术要求及热处理后检测

技术要求		检测值
表面硬度HV	≥670	693
心部硬度HV	320~450	449
硬化层深度/mm	1.3~1.8 (HV550)	1.67
端面平面度/mm	内外缘≤0.10	内≤0.05, 外≤0.10
内控圆度/mm	≤0.06	0.03~0.04

温室→压淬→清洗→回火工艺喷丸（检测变形）→车内孔→研齿→磷化→对研检查印痕。

产品加工后在600HTT型滚动检测机上检测，不同的齿轮出现接触区偏，有时局部接触斑点大小不一，见图2（游离）、图3（大小不一）。在600HTT上检测内圆径向圆跳动，检测位置如图1箭头所示。因为在冷加工时内圆和内孔是一起加工的，只要内圆径向圆跳动合格，内孔加工就没有问题。用仪表检测径向圆跳动在0.03mm，说明内孔冷热加工没有问题。检测外圆轴向圆跳动在0.05mm，也是合格的。产品热前热后的TOP图说明问题出在热处理，但是热处理检测项目都是合格的。因此，追查原因从原材料、热处理等查起。

2. 问题排查

（1）首先查的是热处理工艺。热处理工艺参数见表2，压淬工艺参数见表3。

经过实际调查发现，淬火时油温没有控制。从开始加热的室温（10~30℃），到淬火后的50℃左右，通过压淬产品油温缓慢升高到要求的温度。压淬时由于油温不稳定，温度偏低，油的流动性不好，会造成局部冷却不好，局部齿畸变，即使压淬后的平面度是合格的，但是通过TOP图说明，齿还是有变形。由于油温的波动，淬火一致性不好。根据热处理检测结果来看，热处理后的心部硬度在上限，降低心部硬度，工件变形就会减少很多。

（2）根据热处理检测结果，对热处理工艺尤其是压淬工

序进行优化：可以通过调整淬火温度、减少各个阶段的喷油量、提高淬火油温等几个方面。由于压淬时产品接触空气，现在淬火温度是840℃，随着环境温度的

变化，淬火温度不便于降低；增加第一阶段的淬火时间，由20s增加为60s，减少第二阶段的淬火油流量，由1130L/min（A、B、C全通）降为960 L/min（A、



(a)



(b)

图 2



(a)



(b)

图 3

表2 热处理工艺参数

项目	预氧化	加热Ⅰ区	加热Ⅱ区	渗碳Ⅰ区	渗碳Ⅱ区	扩散区	预冷区	恒温室	回火
盘位	5	4	4	5×2	5×2	5×2	8	1	8×2
温度/℃	450	900	900	910	910	900	850	840	170
碳势(%)	—	—	—	1.0	0.9	0.80	0.75	0.75	—
推料周期	23min	双排	—	—	—	—	—	—	—
备注	每盘装6件，MASTA油温50℃±5℃								

表3 压淬工艺参数

序号	工序质量控制内容			工艺参数	
	检验项目	检测规范	检验工具	内环压力/MPa	1.5
1	凹心	内环大于外环	导轨尺	外环压力/MPa	3.5
2	内环平面度/mm	≤0.10	塞尺	扩张器压力/MPa	0.8
3	外环平面度/mm	≤0.06	塞尺	脉动频率/Hz	30
4	圆度/mm	≤0.05	内径量表	扩张器、内环、外环	脉动
5	表面硬度HRC	60	专用锉刀	阶段一A-B-C都通20s	—
6	压淬后温度/℃	≤120	红外线测温仪	阶段二A-B-C都通60s	—
7	外压环编号	XXX03-1	—	阶段三A-B-C都通90s	—
	内压环	XXX03-2	—	底模刻度	+1
	扩张器	XXX03-3	—	淬火油温/℃	50±5

C全通)。减少第三阶段的淬火时间,由90s降为60s。淬火油温改为 $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (masterA油温使用温度为 $50 \sim 80^{\circ}\text{C}$),在开始淬火前,油温最低达到 70°C ,并且至少已经循环20min。为保证每次压淬产品的一致性,压淬后产品用塞尺检测,要保证内缘的数值大于外缘,内缘 $\leq 0.10\text{mm}$,通过调整底模达到变形一致性。

检测原材料的化学成分、低倍组织、偏析都是合格的,并且原材料钢厂提供的检测报告也是合格的。但是钢材材料淬透性偏高,技术要求J15=35~40HRC,实测40HRC。

(3) 检测毛坯的硬度及金相、锻造流线。检测硬度、金相工件按 120° 对称检测三点。三点的硬度分别为179HBW、181HBW、180HBW。技术要求硬度175~195HBW。金相见图4、图5。锻造流线见图6。

粗车后高温回火温度在 520°C ,不能消除太多的加工应力,一般为了防止降低硬度,高温回火温度在 640°C 左右。对于大模数齿轮尽量采用粗车后二次正火,毛坯进行粗车后正火,相当于锻造后的毛坯余量非常均匀,这样再次精车的产品应力分布会更合理,但是由于工序流转麻烦,一般采用直接二次正火。根据第一次正火后的硬度,对正火工艺进行优化,保证正火后的硬度符合要求。现场恰好还有20件毛坯,直接进行二次正火。二次正火后硬度还是按 120° 对称检测三点。三点的硬度分别为182HBW、180HBW、179HBW。金相见图7、图8。

(4) 二次正火后硬度没有太大变化、金相组织更细化。对于这20件毛坯冷加工还是按原工艺,对于渗碳工艺优化,主要是将预处理温度由 450°C 改为 500°C ,对于加热区温度由 900°C 改为 850°C 、 880°C ,主要是降低热应力造成的齿变形,对于压淬工艺采用事先优化的工艺进行。第一次试验10件,有3件调试品,7件合格。这3件调试品中,编号1外缘 $\leq 0.07\text{mm}$,内缘 $\leq 0.05\text{mm}$,编号2外缘 $\leq 0.08\text{mm}$,内缘 $\leq 0.08\text{mm}$,编号3外缘 $\leq 0.05\text{mm}$,内缘 $\leq 0.12\text{mm}$,其余7件,内缘 $>$ 外缘,内缘 $\leq 0.10\text{mm}$ 。对于其余尺寸,符合图样要求。在格里森600HTT型滚动检测机上检测接触斑点,其中编号1产品出现明显接触区偏,编号2产品接触区偏不是很明显,只有一个齿有点游离,其余8件产品接触区没有出现明显的不合格。合格的8件产品研磨后进行磷化,磷化前的接触区按照客户要求,磷化后的接触区域有变不规则的趋势,对于磷化的部位会出现一个尾巴。对于产品磷化后出现印痕游离,主要与热处理压淬变形有关。只要压淬后的产品没有接触斑点游离。磷化后的产品也不会出现。但是压淬后产品进行对研,若接触区位置不是很合适,则通过研齿调整接触区位置,研齿后的位置符合要求,但是磷化后的产品重新对研,接触斑点有恢复研齿前斑点位置的趋势。如果研齿前凸面接触斑点偏小端,研齿后接触斑点离开小端,但是磷化后接触区有向小端走的趋势。

(5) 凸面基本不变或者变长很小,凹面明显偏向大端,并且磷化后出现接触区偏。根据这种现象磷化前凹面接触区放在中

图4 100×

图5 500×



图 6

图7 100×

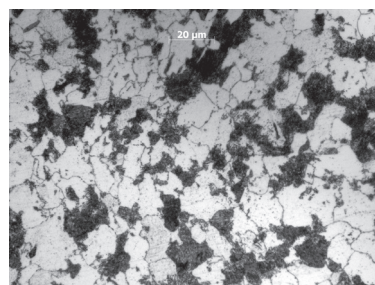


图8 500×

端偏小端，凸面基本不变。这样磷化后的产品合格率由40%提高到80%。

工件磷化后为什么会出现接触区偏？是由于研齿的应力释放还是由于齿曲率半径不同使磷化膜生长速度不同造成的，或是压铸时产品变形不一致造成的呢？主要从研齿工艺、磷化工艺查起。研齿时加载为10N·m，研磨砂粒度为220目。加载越大，研齿速度越快，齿轮之间由于研磨形成的应力越大，随后在磷化的过程中，由于磷化温度在90～95℃，会有应力释放，也会影响磷化膜。因此，减小研齿加载力，增加研齿时间，减少应力。

产品磷化是锰系磷化温度较高，产品磷化工艺清洗→表调→磷化→冲洗→干燥。为了验证是否为应力释放，把研齿后的产品放到100℃的炉中保温1h，然后重新检测。

接触区出现明显偏长。接触区变化说明与研齿应力有一定的关系。随后通过提高回火温度，降低表面硬度，降低研齿加载力，磷化后的产品合格率得到提高。

工件磷化后为什么会出现接触区偏？主要还是由于热处理局部变形造成的，研齿后涂红丹粉检测是按120°对称涂的，没有涂到变形位置，随后磷化再随机检

测印痕，就会出现游离的现象，事实上是由于变形不均匀造成的。

3. 结语

总之，通过二次正火、优化压铸工艺、研齿工艺，产品合格率得到提高。但是对于原材料要进行控制，对于淬透性上限的材料不建议用于从动齿轮，但可以用于主动齿轮，这样可以降低由于心部硬度偏高而造成的变形。应用淬透性在中下限的材料，热处理后的心部硬度控制在320～380HV，这样从动齿轮磷化后的合格率得到很大的提高。

MW 20160219

《金属加工(热加工)》2016年第13期广告目录

单位名称	编号	位置	单位名称	编号	位置
西安机电研究所	1300	封面A	吉埃斐工业炉（上海）有限公司	5189	前彩4
金属加工杂志社	8000	封二A	南京科润工业介质有限公司	1418	前彩5
江苏丰东热技术股份有限公司	5098	封面B	洛阳三恒感应加热科技有限公司	1992	前彩6
厦门宇电自动化科技有限公司	5104	封二B	十堰高周波科工贸有限公司	5096	前彩7
天津天高感应加热有限公司	1943	封三	金属加工在线	8000	前彩8
保定市金能换热设备有限公司	1918	封底	金属加工杂志社	8000	I
艾玛应泰感应科技（北京）有限公司	7004	前彩1	保定晶辉电气设备有限公司	5313	III
应达工业（上海）有限公司（熔炼）	1262	前彩2	金粉商城畅销书推荐	8000	分隔页A
北京华立精细化工公司	1253	前彩3	中国国际工业博览会	6104	分隔页B