渗碳齿轮毛坯的预备热处理——等温正火

郑州机械研究所 （河南 450052） 陈国民

渗碳齿轮锻造毛坯均要经过预备热处理，以改善晶粒度，获得合适的切削硬度，同时为渗碳作组织准备，以减小畸变，通常都采用正火处理。

正火是将钢加热到奥氏体化温度保温一段时间后从炉中取出置于空气中冷却，这被认为是一种最简单的热处理工艺而不被人重视。

随着我国汽车工业的迅速发展，尤其是轿车工业的发展，普通正火处理的齿坯无法适应大批量高速切削生产和随后渗碳淬火变形控制的要求，这是因为普通正火处理齿坯的硬度不均匀。当硬度过高时，切削阻力大，刀的磨损快，而且常常出现崩刃现象；当硬度偏低时，又会发生粘刀现象，既影响生产效率，又影响表面质量。同时，由于组织不均匀及切削加工时造成的不均匀塑变应力，致使渗碳淬火后的变形增大，表1便是不同预处理工艺对齿轮变形的影响。正因为如此，人们便对齿轮毛坯质量提出了严格的要求，如德国大众公司对齿轮毛坯的规定：魏氏组织：≯1级；带状组织：＜1级；粒状贝氏体：无；正火硬度散差：一批次≯15HBS，单件≯5HBS。

表1 不同预处理工艺对齿轮变形的影响

状 态	试验件数	公法线张量/mm	公法线变动量/mm	外圆椭圆/mm	内圆椭圆/mm
原正火不充分齿坯	19件平均	0.30	0.14	0.12	0.08
补充高温回火	8件平均	0.36	0.09	0.10	0.06
重新正火	8件平均	0.32	0.12	0.11	0.06
重新正火＋高温回火	4件平均	0.35	0.10	0.06	0.04

我国汽车齿轮生产厂也相应提出了类似的质量要求。这种严格的质量要求由于普通正火工艺存在的固有缺陷是难以达到的。

1. 普通正火工艺的固有缺陷

图1是20CrMnTi钢的连续冷却转变（CCT）图。

从图中的冷却曲线束可以看到，不同的冷却速度相应得到不同的组织和硬度，而且还可看到，在很大的冷速范围内都会出现贝氏体组织，这种贝氏体形成温度稍高于上贝体，是在大块状铁素体中分布的贝氏体。由于贝氏体一般呈粒状，所以被称为“粒贝”，这种组织较硬而韧，使钢的切削性能恶化。为了获得最合适于切削加工的组织和硬度，相应冷却速度范围很窄，根据吉林工学院的试验，大约在30～42℃之间，这对普通正火工艺操作是很难达到的，所以一般得到的硬度散差都很大（见表2）。这种结果已严重影响到齿轮厂的生产，并成为连续生产线的瓶颈障碍。

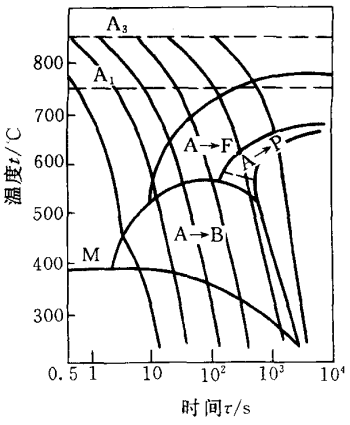


图1 20CrMnTi钢的CCT图

表2 普通正火毛坯硬度散差

零件编号	最低硬度HBS	最高硬度HBS	同件散差HBS
11#	168	195	27
12#	160	266	106
13#	171	189	18
14#	175	205	30
15#	191	300	109
22#	165	191	26
23#	181	276	95
24#	165	206	41
25#	176	230	54
31#	161	192	31
最大	191	300	109
最小	160	189	29
同批散差	31	111	80

2. 等温正火工艺

由于普通正火工艺存在的固有缺陷，国外如德国、日本、法国和意大利等国的汽车齿轮生产中广泛采用锻后毛坯等温正火处理。我国从20世纪90年代中期也开始进行等温正火的试验研究，并很快开发出了微机控制的等温正火自动生产线。利用这种设备，便可根据不同钢种和齿坯形状及装炉量对加热温度、冷却速度、等温温度以及保温时间等参数进行有效控制，保证最终得到要求的金相组织及硬度。通常得到块状先析铁素体＋片状珠光体，硬度在160～180HBS范围，这对保证齿轮加工效率和表面质量及减小热处理畸变都有好的效果。

等温正火能有以上好的效果可从等温正火的原理得以理解。图2是等温正火工艺示意图。钢材经奥氏体化保温之后，先以较快的冷却速度将奥氏体冷却到某一合适的温度，然后在该温度下等温保温，使钢件各部位温度均匀，并在此温度下进行组织转变。由于奥氏体是在设定的温度下恒温转变，因而可获得要求的组织和硬度，而且质量均匀。

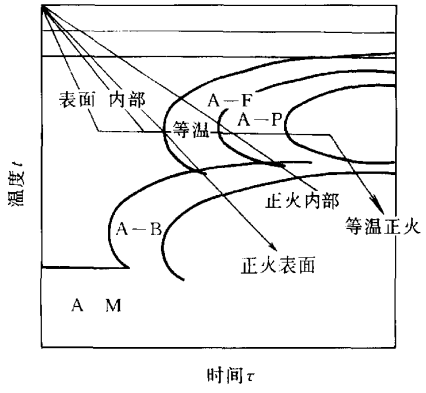


图2　等温正火示意图

等温正火的关键环节是齿坯从奥氏体化温度以某一冷速在限制的时间内降到等温温度。显然，靠静止的空气冷却是不够的，需要强制鼓风获得较强的冷速。但过大的冷速会造成齿坯之间及齿坯截面不同部位的冷速不均，所以必须根据装炉量和工件结构来调整风量和风压，以达到最佳的冷速。

等温正火的另一关键环节是选择等温温度。不同钢材获得最佳组织和硬度的温度范围是不同的，这需要根据各钢材的冷却转变曲线来确定。通常等温温度在560～650℃范围。

3. 零件毛坯等温正火的效果

零件毛坯采用等温正火后其组织均匀性得到有效控制，因而相应的硬度散差大大缩小，表3、表4及图3的试验结果充分显示了这种效果。

表3　每盘装载100kg零件等温正火的硬度

位置	试样直径/mm	硬度值HBS
1	40	174
2	40	178
3	40	180
4	60	174
5	60	176
6	60	180
7	110	176
8	110	182

表4　齿坯等温正火后的硬度

零件名称	材料	抽样件数	测量点数	同件最大散差	同批最大散差	平均硬度HBS	金相组织
一档齿圈	20MnCr5	4	16	10	11	160	铁素体＋细珠光体
一档齿圈	20MnCr5	74	296	10	23	162	铁素体＋珠光体
二档齿轮	19CN5	4	16	4	12	177	铁素体＋珠光体
二档齿轮	19CN5	22	88	11	24	180	铁素体＋珠光体
四、五档齿毂	16MnCr5	4	16	10	13	163	铁素体＋细珠光体
二轴	16MnCr5	12	48	8	13	160	铁素体＋珠光体
9T一、二速齿座	20CrMnTi	6	12	12	24	164	铁素体＋珠光体
9T五、六速齿座	20CrMnTi	6	12	11	23	172	铁素体＋细珠光体

由于齿轮毛坯硬度和金相组织的均匀性得到有效控制，因而大大改善了加工性能，无论是切削速度和表面质量都得到显著提高。据杭州前进齿轮箱厂统计，齿毂、齿套类零件表面粗糙度废品率分别由原来的4%和2%降为零；齿部加工效率：齿毂每件节约3′35″，齿轮每件节约2′05″，轴类每件节约7′50″，齿圈每件节约1′，生产效率

（下转第48页）

中其拱度值的变化幅度不会太大。因主腹板侧焊接量大于副腹板，所以主腹板的下料最大拱度值应大于副腹板。为此，我们确定主梁腹板下料最大拱度值：主腹板为38mm，副腹板为33mm。同时，为了克服正弦曲线及二次抛物线曲线需要修整的缺点，我们采用了四次函数曲线作为腹板下料拱度曲线。

3. 上下盖板及腹板对接焊缝的焊接

根据Q345（16Mn）材质及板厚并结合我厂的实际情况，上下盖板及腹板需三块钢板拼接而成，出现两道对接焊缝，为减少焊接变形和使主副腹板上拱度一致，焊接时两道焊缝同时从一侧向另一侧焊接，主副腹板方向一致。在对接焊时选用了反Y形坡口形式，如图2所示。坡口深度为10mm，坡口角度为60°～65°，对接间隙为2mm。

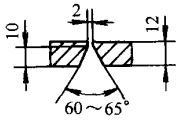


图2 Y形坡口

焊接方法为：先采用手工焊接，用ϕ4mm、E5016焊条，焊接电流为120～180A，焊一遍，然后翻转清根；采用埋弧自动焊，焊丝选用H08A，配用HJ431焊剂，焊接层数为两层，第一层：焊接电流500～550A，焊接电压32V，焊接速度50m/min；第二层：焊接电流650～680A，焊接电压35V，焊接速度30m/min。

按上述方法焊接，其焊缝超声波探伤达到JB1152标准规定的Ⅰ级要求，能够满足起重机的焊接质量要求。

4. 组焊顺序

因单根主梁重量较大，截面尺寸较大，为减少翻转工作量和因翻转引起的变形，经认真分析，确定主梁的组焊顺序为：以平台为基准组装T形钢和主腹板，采用焊条电弧焊焊接背面焊缝；然后组装上盖板、筋板、副腹板；先焊接筋板与上盖板、筋板与主副腹板之间的焊缝，再焊接T形钢与上盖板之间的焊缝；以下盖板为基准，将已组焊好的π形梁与下盖板组装；用埋弧自动焊焊接上盖板与T形钢、T形钢与主腹板焊缝，最后焊主梁的4条角焊缝。

采用上述下料及组装焊接工艺进行主梁的生产，所生产的两台QD125/50/5—22A6起重机的4根主梁的上下盖板及腹板对接焊缝，射线探伤检查结果均达到GB3323中规定的Ⅱ级，超声波探伤时JB1152中规定的Ⅰ级要求。而且4根主梁的上拱度，组装焊接完毕没有修整其最大上拱度数值为24～26mm，完全符合标准要求。

三、结语

在QD125/50/5—22A6起重机生产过程中，通过综合分析，我们选定了合理的焊接工艺，适当的主梁腹板下料拱度值和合理的组装焊接工艺；减少了因工艺措施不当所造成的返修。采用上述方法组装生产的主梁符合标准要求，确保了两台起重机的顺利完成。热 (20040930)

（上接第17页）平均提高24%。另外，齿套花键孔拉刀一次刃磨寿命由原来的700件提高到1100～1300件。与此同时，等温正火还使齿轮渗碳淬火后的畸变也减小（见表5）。

表5 等温正火对减小渗碳淬火齿轮畸变的效果

零件名称	参 数	与名义尺寸的相对误差（%）	
		普通正火	等温正火
后桥齿轮（20Cr2Ni4A）	中心距	14	9
变速箱齿轮（20CrMnTi）	花键孔直径	15	11.5
变速箱齿轮（25CrMnTi）	中心距	10.5	6.5

从以上结果看到，渗碳齿轮毛坯普通正火存在的问题可以通过等温正火工艺来解决。正因为此，近年来我国汽车齿轮生产厂纷纷投资进行技术改造，将原来普通正火改为等温正火，并取得了良好的技术经济效益，而且逐渐为整个齿轮行业所认识。无疑，随着等温正火工艺的广泛应用，必将使我国齿轮生产技术水平得到新的提高。

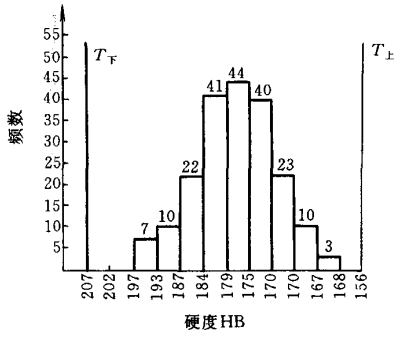


图3 等温正火零件硬度分布直方图

热 (20041008)