



某型号汽车发动机前驱变速器一轴在机械加工过程中发生搓齿变形。本文通过对故障件进行化学成分分析、硬度检测、显微组织检验等手段，确定了显微组织中粒状贝氏体的过量出现是导致一轴变形的原因，并找出了产生过量粒状贝氏体的原因，提出了改进措施。

□ 哈尔滨东安汽车动力股份有限公司 咸俊宝 胡本洋 王小禹

汽车变速器一轴搓齿变形原因分析



技术专题—零部件制造

某型号汽车发动机前驱变速器一轴，为汽车变速传递原始动力，是汽车变速器上的重要零部件。该零件的加工工艺为：毛坯锻造→锻坯等温正火→粗加工→精车→花键部搓齿→齿部插齿→剃齿→渗碳淬回火→抛丸→磨削→成品装配。

该零件毛坯所用材料为 20CrMo，预备热处理状态要求为等温正火处理状态，该零件在我公司生产车间机加过程中，花键部位产生了轴向搓齿变形，生产中出现了多批次废品。搓齿变形表现为加工过程中零件产生径向圆跳动，加工后测量圆度超差。为了查明变形原因，我们对该件号的搓齿变形零件进行标识、取样及相关的理化检验与分析，最终确定零件加工失效原因，并提出了相应的改进措施。

试验与分析

1. 零件毛坯技术要求与宏观标示

一轴毛坯为锻造毛坯，预备热处理要求进行等温正火，要求零件整体硬度为 HBd 4.3 ~ 4.7 mm；金相组织为均匀的珠光体 + 铁素体；晶

粒度 5 ~ 8 级。为了便于说明和分析，现场采集了该件号一轴的实物图片并进行了标示（图 1）。

2. 硬度测试

为了证明零件的图样符合性，首先对零件各部位按照一定的压痕次序进行硬度测试，其硬度测试结果如表 1 所示。

该零件锻造毛坯图样要求硬度 HBd 4.3 ~ 4.7 mm。从上表可以看出取样零件各处的硬度值均在图样要求的硬度范围内，硬度值满足技术要求。而且同一部位由心部至边缘或沿边缘，硬度值基本变化不大，不同部位之间硬度值也变化不大。

3. 化学成分分析

在轴颈部截取试样，采用 Optima 型 ICP 光谱仪及 CS-8800 型红外碳硫分析仪进行化学成

表 1 硬度测试结果 (HBd, mm)

取样部位	硬度值			压痕次序
大径齿部	4.58	4.48	4.52	由心部至边缘
大径花键部	4.52	4.52	4.52	
中径轴部	4.46	4.54	4.72	
小径花键部	4.50	4.52	4.52	
大径齿部 截面	4.64	4.58	4.58	大径齿部截面 沿圆周边缘
	4.58	4.58	4.58	
	4.58	4.62	4.58	
	4.60	4.60	4.62	
	4.62	4.70	4.64	

表 2 一轴化学成分 (质量分数, %)

条件	C	Si	Mn	Cr	Mo
测试值	0.21	0.30	0.58	1.02	0.19
标准值	0.17 ~ 0.24	0.17 ~ 0.37	0.4 ~ 0.7	0.8 ~ 1.1	0.15 ~ 0.25

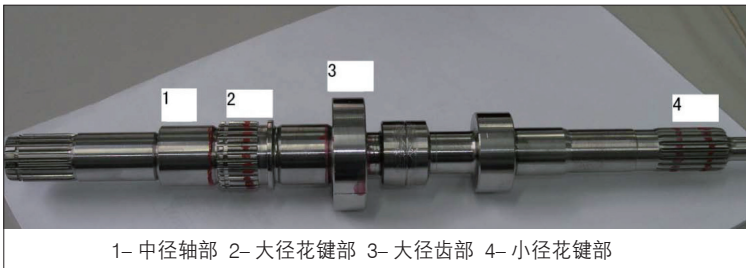


图 1 试样 1 宏观形貌及取样位置标示



分分析，结果如表 2 所示，由此可见一轴材料化学成分符合 GB/T3077-1999《合金结构钢》中对 20CrMo 材料的标准要求，化学成分无问题。

4. 显微分析

因为一轴花键部位搓齿过程中轴向变形比较严重，所以从一轴大径花键部、小径花键部及中径轴部的截面分别截取试样经磨抛及 4% 硝酸酒精溶液浸蚀后观察显微组织。

为了便于观察与分析，我们分别进行金相显微镜下 100× 和 500× 的金相试样组织分析。图 2 ~ 图 7 给出了材料的金相组织形貌，可见，零件各部位的显微组织基本类似，基体组织均为珠光体 + 铁素体，其上都不均匀分布着粒状贝氏体，含量超过 5%。

材料的晶粒度较好，平均为 7 ~ 8 级。由于零件的组织形态和晶粒大小与预备热处理工艺息息相关，上述相关组织相态不是理想等温正火工艺处理的结果。换句话说，材料的这种组织表明，材料的预备热处理控制不当。

5. 综合分析

从金属材料的热处理原理与工艺上来讲，粒状贝氏体的出现与锻坯等温正火的好坏有很大关系。锻坯等温正火为一轴机械加工前的预备热处理，对零件的机械加工性能影响很大。一般来说，一轴的预备热处理工艺有两个目的：①为获得良好的切削性能，要求在预备热处理后得到均匀等轴晶粒的铁素体一珠光体混合组织，且不含贝氏体组织；②保证一轴具

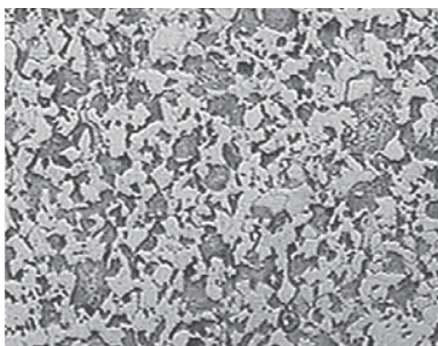


图 2 试样 1 大径花键部 100×

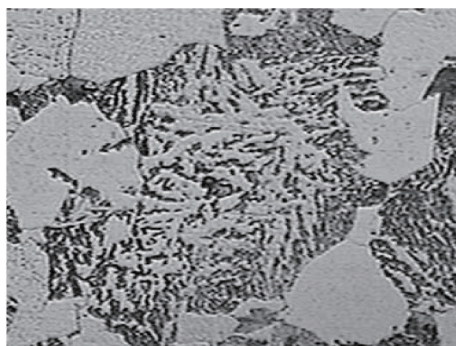


图 3 试样 1 大径花键部 500×

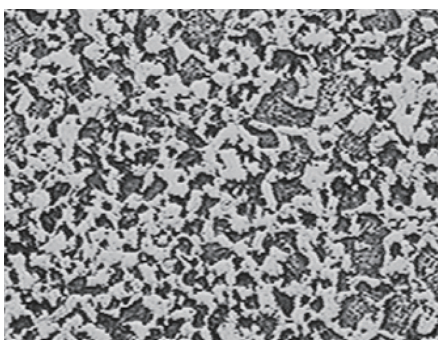


图 4 试样 1 小径花键部 100×

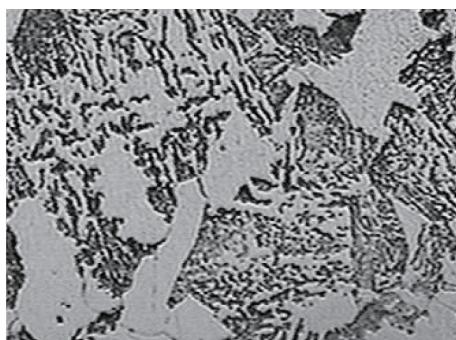


图 5 试样 1 小径花键部 500×

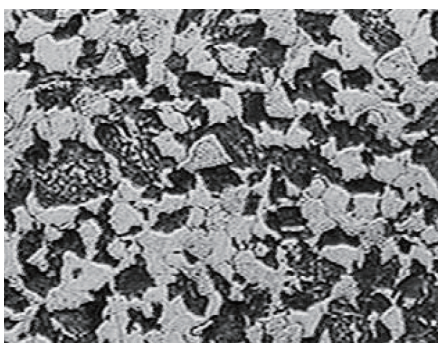


图 6 试样 2 中径轴部 100×

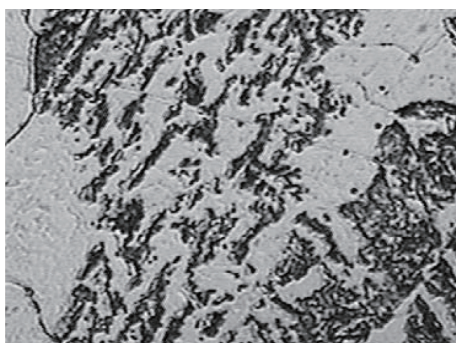


图 7 试样 2 中径轴部 500×

有均匀一致的组织结构，减小齿轮渗碳淬火后因组织转变而产生的不规则变形，保证齿轮具有良好的接触面，降低工作噪声。

随着汽车工业的迅速发展和对齿轮质量要求的日益提高，特别是引进车型用钢材料的多样化，为提高齿坯的可切削性，消除锻造应力，使组织均匀，传统的正火处理工艺因硬度波动范围较大 (HBS 156 ~ 207)，金相组织不均等缺陷，已难以

满足大规模生产对毛坯加工性能和齿轮质量的要求。普通正火处理工艺产生这些缺陷的原因主要是当成堆齿坯在空气中冷却时，位于齿坯堆表面和内部的齿坯冷却速度不同，无法控制奥氏体分解相变的一致性，因此获得的显微组织和硬度不同。表面齿坯因冷却速度较快，局部有可能获得非平衡组织 (α-Fe 魏氏体、贝氏体等)，这不仅影响切削加工性能，也会改变齿轮渗碳淬火后的变形

规律，甚至因畸变过大而报废，当材料淬透性波动较大时，这种情况尤其明显。

内部齿坯因冷却速度较慢，产生大量的铁素体，切削加工时易形成切削瘤，造成“粘刀”或“烧刀”等现象，严重影响毛坯的切削性能。而且齿轮毛坯正火后的显微组织不同，切削加工后的残余应力也不相同。在相同切削条件下，如果显微组织是由较粗大的奥氏体晶粒形成的铁素体+珠光体组织，则切削加工后残余应力较小；若显微组织含有大量贝氏体（特别是马氏体—奥氏体岛的粒状贝氏体），则切削后的残余应力较大。

而随着近年来国内热处理工作者对齿轮毛坯的等温正火处理研究得越加深入，预备热处理工艺也慢慢由正火向等温正火转变。等温正火是指合金钢件经奥氏体化温度保持一定时间后直接进入等温炉或随炉冷却至等温温度，保持一定时间使其完成铁素体+珠光体或珠光体相变，然后出炉空冷的工艺过程。采用等温正火工艺可实现对相变过程的有效控制。齿坯奥氏体化后迅速冷却至Ac1以下的珠光体相变温度等温，由于相变在恒定温度下进行，因此经等温正火处理后的钢件较易获得所要求的显微组织和硬度，避免了带状组织超差及出现非平衡组织（如a-Fe魏氏体、贝氏体、马氏体等）。此外，由于等温正火是在恒温下实现相变，与在一定温度范围内实现相变的普通正火相比，残余应力较小，有利于减小淬火变形，改善切削加工性能及渗碳淬火组织。

由上述分析测试可知，零

件不同部位的硬度值有所不同，同部位不同试样间的硬度值差别不大，但都符合零件硬度值要求。由光谱、化学分析可知零件材质符合要求。由显微组织分析可知，珠光体+铁素体基体上不均匀分布着粒状贝氏体，粒状贝氏体含量超过5%。粒状贝氏体是在一定的冷速范围内连续冷却得到的亚稳相，其组织的大量不均匀存在将直接影响零件加工过程中的综合力学性能。由此可使钢的力学性能发生很大变化，屈服强度明显下降，延伸率显著上升，并产生连续屈服。且过量的非平衡相粒状贝氏体组织的存在不仅严重影响材料的切削性能，还会导致切削后的残余应力非常大。由于过量粒状贝氏体组织出现所导致的该零件材料的切削加工性的下降和切削后较大的残余应力的存在而产生的交互作用是导致一轴机加过程中发生搓齿变形的原因。

结论

齿轴锻坯金相组织要求为珠光体+铁素体均匀分布，经实体取样检测，材料中不均匀分布着的过量粒状贝氏体是造成一轴搓齿变形的主要原因，而粒状贝氏体的出现与锻坯等温正火的好坏有直接关系，因此建议加强对该零件预备热处理工艺（等温正火工艺）的控制，严控供应商现场质量管理。 AI

VOGEL 机工弗戈

双微融合

跨终端裂变传播

微信定制化服务

内容合作

活动策划

微调查

微课堂

AI 汽车制造业

细分用户群体跨终端零滞后的精准化信息传播

AUTOMOBILE INDUSTRY

AI 汽车制造业

全媒体平台

设计与开发

工艺与装备

官方微博

想要获得快速有效的传播解决方案，请与我们联系！

☎ 010-63326095~98

📍 北京市西城区白云路1号白云大厦11层

🌐 auto.vogel.com.cn

广告

工艺与装备 2020-03 · AI 汽车制造业 | 37

34-48底盘零部件制造-张. indd 37

2020/3/6 19:17:27