副箱同步器锁止销热处理软点原因探究

刘永青[1]，杜宇航[2]，储召萍[2]，刘一[1]，郭子青[1]
1.陕西法士特汽车传动集团有限责任公司咸阳精密机械分公司　陕西咸阳　712000
2.陕西法士特汽车传动集团有限责任公司　陕西西安　710119

摘要：主要针对副箱同步器锁止销渗碳淬火后存在的局部软点和表面硬度不合格问题，进行原因排查及探究。结果表明：软点是由于热处理渗碳层深局部不合格导致的，而渗碳层深局部不合格的原因是热处理前存在切削液、清洗液等残留物，因工艺设备特殊性，导致渗碳过程中阻渗。针对此原因进行了工艺优化改进，从而解决了软点问题。

关键词：锁止销；表面状态；阻渗；软点

Exploration into the reasons for soft points in the heat treatment of the lock-pin of the aux synchronizer

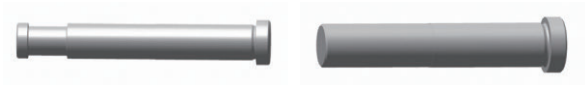
LIU Yongqing[1], DU Yuhang[2], CHU Zhaoping[2], LIU Yi[1], GUO Ziqing[1]
1. Shaanxi Fast Auto Drive Refco Group Ltd., Xianyang Precision Machinery Branch, Xianyang 712000, Shaanxi, China
2. Shaanxi Fast Auto Drive Refco Group Ltd., Xi'an 710119, Shaanxi, China

Abstract: In response to the problem that there are local soft points and surface hardness unqualified on the lock-pin of the aux synchronizer after carburizing and quenching, the reasons are investigated and explored. The results show that the soft points are caused by the depth of the locally unqualified carburized layer after heat treatment, and the reason for the local unqualified of the depth of carburized layer is the residue of cutting fluid and cleaning fluid before heating, which is hindered during the carburizing process due to the distinctiveness of the process equipment. Process optimization and improvement were carried out based on the reasons, thus solving the soft points problem.

Keywords: lock-pin; surface condition; carburizing gas-barrier; soft points

1　序言

锁止销作为副箱同步器的核心零件，其质量直接影响同步器寿命，AMT锁止销结构如图1所示。低档和高档锁止销尺寸分别为ϕ10mm×58mm、ϕ10mm×45mm。磨损失效是锁止销失效的主要方式之一，表面软点、硬度不均匀是导致磨损的主要原因，是一种常见的热处理缺陷，直接影响到零件外观及使用寿命，造成早期失效。本文针对锁止销热处理软点问题，对可能影响的多因素进行排查，寻找主要原因，进行系统改进，提高产品质量。



a）低档锁止销　　b）高档锁止销

图1　AMT锁止销结构示意

2 不良现状分析

（1）热处理工艺概况 锁止销材质为20CrMnTiH钢，热处理前采用通过式清洗机对锁止销进行清洗，采用VKES 5/2爱协林可控气氛多用炉进行渗碳淬火（丙酮＋氮气＋甲醇渗碳工艺），淬火完成后采用爱协林双槽清洗机对淬火油进行清洗，之后进行回火处理。锁止销渗碳热处理工艺流程如图2所示。

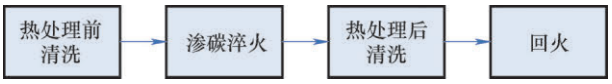


图2 锁止销渗碳热处理工艺流程

（2）热处理不良状态 锁止销回火后进行硬度抽检，发现存在局部软点，零件硬度不均匀，检测结果为56～61HRC（工艺要求：58～63HRC），不合格率为10%～15%，进一步检测零件硬化层深，结果见表1。同一零件不同位置的硬化层硬度梯度如图3所示。

表1 同一零件不同位置硬化层深及表面硬度检测结果

项目	淬硬层深度/mm		表面硬度HRC	结论
	513HV1处	633HV1处		
位置1	0.88	0.54	61	合格
位置2	0.69	0.24	58	不合格
位置3	0.44	0	56	不合格
技术要求	0.71～1.13	≥0.35	58～63	—

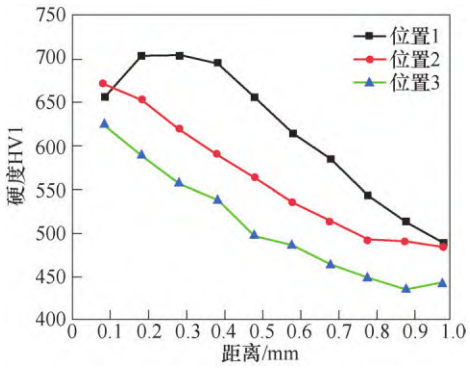


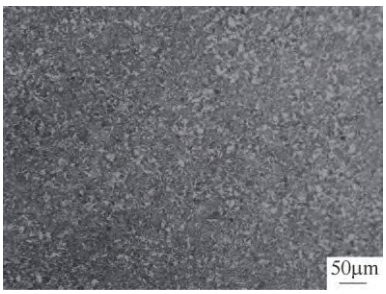
图3 同一零件不同位置的硬化层硬度梯度

结果表明，锁止销热处理软点是由于渗碳层深不均匀而造成的表面硬度不均匀。

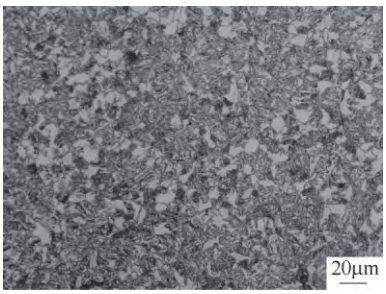
3 分析与讨论

针对锁止销渗碳不均匀，可能原因有：热处理前组织偏析，热处理前杂质残留或备料工装遮挡阻渗，渗碳过程流量异常，热处理炉温或气氛均匀性差等[1-3]。下文逐一进行分析讨论。

（1）组织偏析 有研究表明，渗碳齿轮端面凹坑缺陷产生的主要原因是齿轮端面局部偏析[4]。对于渗碳处理，严重的组织偏析会造成渗碳层深度不均匀，这是由于钢材存在合金元素偏析，导致不同区域的奥氏体稳定性不同，故渗碳后获得不同奥氏体含量的马氏体带，表现在沿铁素体区渗碳层浅，沿原珠光体区渗碳层深。对本批次锁止销的热处理前组织状态进行研究，锁止销热处理前同一部位组织金相形貌如图4所示。



a）200×



b）500×

图4 锁止销热处理前金相组织

从图4a可看出，铁素体含量和珠光体形貌存在差异，主要原因是锁止销轧制成形是一个自由过程，不控制冷却速度，不同部位冷却速度不同，从而导致形貌差异。从图4b可看出，组织出现少量针状铁素体魏氏组织，主要由于过热导致。但热处理前组织未出现组织偏析，而上述铁素体含量和珠光体形貌差异、魏氏组织均对渗碳无影响，不会造成渗碳层深不均匀，更不可能引起0.35mm处硬度低。

（2）热处理前杂质残留阻渗 渗碳前零件表面残留物是造成渗碳层深不均匀的主要原因之一，这是因为渗碳是活性碳原子在高温下吸附、扩散的过程，若热处理前零件有油污、锈蚀等杂质残留，

则会影响渗碳时碳原子有效吸附及扩散速率，从而影响渗碳层深的均匀性。有研究表明，在渗碳过程中，17Cr2Ni2H钢表面局部区域形成的氧化膜，阻碍了碳的渗入，淬火后表面局部区域因渗碳不足而形成软点[5]。

对渗碳前锁止销的表面状态进行观察，发现热处理前零件表面有明显的灰尘及油污残留，热处理前清洗后，零件底部存在糊状物质等清洗液残留，为进一步验证热处理前零件表面状态对渗碳层深的影响，本文对锁止销热处理前清洗状态进行对比验证，热处理前不同清洗状态的热处理不合格率见表2。

表2　热处理前不同清洗状态的热处理不合格率（%）

热处理前清洗状态	热处理不合格率
清洗液浸泡	100
不清洗	15
清洗机清洗	12
清洗机清洗＋清水冲洗	0

从表2可知，在清洗液浸泡、热处理前不清洗和正常清洗3种状态下，均有不同程度的缺陷零件比例出现，分别为100%、15%和12%，说明热处理前切削液、清洗液残留会影响锁止销渗碳均匀性，存在阻渗的现象；热处理前清洗机清洗后仍有12%的不合格率，结合实际生产现场观察的清洗后零件底部残留的糊状物质，表明零件未清洗干净，进一步在热处理前清洗机清洗后进行清水冲洗，结果无不合格品。因此，锁止销热处理前切削液及清洗剂等残留均会导致渗碳时阻渗，引起渗碳层深不均匀、0.35mm处硬度低。经调查，使用的热处理前切削液及清洗剂均含有元素Si，而Si的化合物是热处理防渗涂料来源之一，如某型号防渗涂料中含有石英粉、硅酸钠等。因此，热处理前切削液及清洗剂成分中Si等化合物的残留可能是形成渗碳阻渗的直接原因。

（3）备料工装遮挡阻渗　锁止销为细长轴类零件，为了使其渗碳均匀，采用插放备料方式，图5所示为锁止销渗碳备料工装。从图5可看出，锁止销与工装接触的可能性极高，为确认是否由于备料工装反复淬火变形导致备料时零件与工装产生线接触，从而造成锁止销局部渗碳时受物理阻挡引起渗

图5　锁止销渗碳热处理备料工装

碳层深不合格，各准备20件同种热处理前状态的锁止销，采用插放、绑铁丝悬挂放两种装载方式进行试验。不同备料方式下的试验结果见表3。

表3　不同备料方式下的试验结果

备料方式	表面硬度HRC（要求：58～63HRC）	热处理不合格率（%）
插放	57～59	15
绑铁丝悬挂放	57～60	12

试验结果表明，插放、绑铁丝悬挂放2种备料方式下的零件表面硬度均有不合格现象，且软点位置随机，无位置特征。对不合格的零件进行剖切，磨抛后采用硝酸酒精腐蚀，图6所示为表面硬度不合格锁止销的金相形貌。

图6　表面硬度不合格锁止销的金相形貌

由图6可看出，①和②处锁止销渗碳层深不均匀，②处无明显高碳区层深（即0.35mm位置处）。因此，锁止销渗碳层深不均匀与目前采用的插放备料工装无关。

（4）渗碳过程流量及碳势异常　炉内碳势低的

区域，渗碳能力下降，该区域很可能出现渗层浅、不均匀的问题。图7所示为锁止销渗碳过程中气氛瞬时流量曲线。

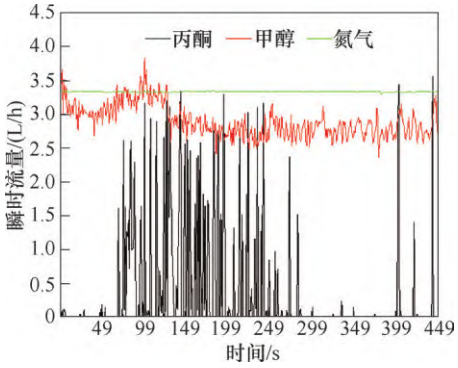


图7　锁止销渗碳过程中气氛瞬时流量曲线

渗碳过程中丙酮为间歇式通入，甲醇和氮气为持续通入，氮气与甲醇的比例为1.2∶1（理论为1.1∶1），经CO气氛探测仪测定，CO为22%（理论为20%），符合要求。同时对炉内碳势进行测定，结果显示为1.15%，工艺要求1.15%，故锁止销渗碳过程流量及碳势正常[6]，对渗碳层深无不良影响。

（5）热处理炉温及气氛均匀性　通过对VKES5/2爱协林可控气氛多用炉进行9点均匀性检测，间接确认热处理炉的温度均匀性、气氛流动均匀性、有效工作区以及设备的过程控制稳定性。

图8所示为9点均匀性检测位置[7]。将同一件齿圈零件剖切为9个试块挂放于料盘四方体装料空间的8个顶点及中心位置并做出相应标记，热处理结束后对9个试块进行检验，9点均匀性检测结果见表4。从表4可知，层深偏差为0.05mm，符合0.10mm的要求，表面硬度偏差为0.5HRC，符合±1.5HRC的要求，故热处理炉温以及气氛均匀性、设备的过程控制稳定性合格。

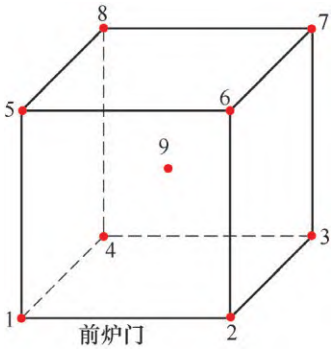


图8　9点均匀性检测位置示意

表4　9点均匀性检测结果

挂放位置	有效硬化层深/mm	残留奥氏体含量（%）	表面硬度/HRC
1	0.82	15	60.5
2	0.81	15	60.4
3	0.81	15	60.3
4	0.84	15	59.8
5	0.84	15	60.2
6	0.80	15	59.6
7	0.82	15	60.1
8	0.85	15	60.0
9	0.83	15	60.2

4　结束语

根据以上分析验证，结论如下。

1）渗碳过程中，热处理前零件清洗液、切削液残留阻渗，引起0.35mm位置处硬度低，导致表面硬度不合格，形成锁止销热处理软点。

2）锁止销表面渗碳层不均匀，进而导致表面硬度不均匀，形成局部软点。

3）热处理前清洗机清洗后增加清水冲洗工序可有效去除零件表面清洗液及切削液残留，提升锁止销热处理合格率。

参考文献：

[1] 寇桂岩. 齿轮渗碳淬火后硬度不均匀的原因及解决办法[J]. 金属加工（热加工），2015（19）：22-23.

[2] 王友志，程志新，赵练，等. 齿轮渗碳不均及表面挂彩的对策分析：“2018中国汽车工程学会年会”论文集[C]. 中国汽车工程学会，2018.

[3] 宋义全. FS-2型防渗碳涂料的研究[J]. 金属热处理，2001（10）：37-39.

[4] 胡星. 渗碳齿轮端面凹坑缺陷分析[J]. 热加工工艺，2015，44（6）：244-245.

[5] 王立成，闵永安. 17Cr2Ni2H钢渗碳表面异常软点分析[J]. 热加工工艺，2018，47（16）：140-143.

[6] 中国机械工程学会热处理学会. 热处理手册：热处理设备和工辅材料[M]. 4版. 北京：机械工业出版社，2008：700-708.

[7] 全国热处理标准化技术委员会. 热处理炉有效加热区测定方法：GB/T 9452-2012[S]. 北京：中国标准出版社，2012.

MW 20240928