

高速铁路用DI弹条生产工艺的研究改进及应用

■ 牛静波

摘要：从DI弹条的原有生产工艺入手，通过对弹条生产工艺中的重要质量环节进行了分析、研究和改进，对生产进程和工艺参数严格控制，从成形模具的改进，淬火、回火温度及时间的科学确定，到抛丸工艺的改进及对DI弹条局部结构的设计改进等，可以明显提高产品加工的质量和在高速铁路系统应用中的安全性和可靠性。

关键词：高速铁路DI弹条；工艺改进；结构设计；产品质量；弹条安全系数

1. 引言

为适应少维修轨道结构的要求，近年来我国研制开发了弹条Ⅲ型扣件，弹条Ⅲ型扣件具有扣压力大、弹性好的特点，又由于取消了螺栓联接的方式，大幅减小了扣件养护工作量，在我国被大量铺设在无挡肩无螺栓扣件的秦沈客运专线和上海、兰州、成都、郑州和乌鲁木齐铁路局的部分线路。而铁路DI弹条是在弹条Ⅲ型扣件的基础上改进的一种轻型弹条扣件，结构形式与Ⅲ型弹条一致，在尺寸规格上略小一些，多用在客运专线路段和一些轻型轨道上面。而在加工生产过程中出现了产品质量不稳定，成

品合格率不高等问题及针对在现场实际使用中出现过弹条在长期使用后出现从预埋铁座中滑脱的现象，作者对弹条的生产工艺过程及弹条的结构设计进行了研究改进，提高了弹条的成品质量和合格率，增加了弹条扣件的使用寿命和安全系数。弹条安装示意如图1所示。

2. 生产工艺的改进

(1) 弹条原材料 DI弹条原材料为直径 $18\text{mm} \pm 0.25\text{mm}$ 的60Si2MnA热轧弹簧圆钢，其化学成分和力学性能见表1、表2。该材料技术要求符合GB1222的规定，对低倍组织、非金属夹杂物和断口等也进行了规定。

(2) 现有生产工艺流程 公司原有制定实施的生产工艺流程为：材料检验→检测→下料→倒角→中频感应加热→三序成形工艺→余温淬火→检验→回火→检测→抛丸→静电喷涂防腐处理→交验批抽样验收→包装入库。

(3) 质量控制关键工序及

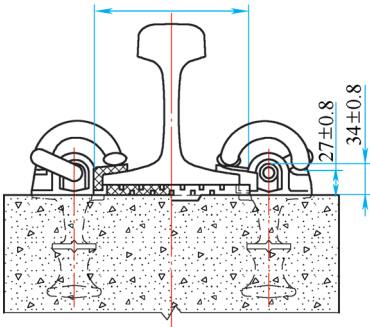


图1 DI弹条安装示意

表1 化学成分（质量分数） (%)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	V	B
0.52~0.60	1.5~2.0	1.00~1.30	≤0.035	≤0.035	≤0.35	≤0.35	≤0.25	0.08~0.16	0.0005~0.0035

表2 力学性能

R_m /MPa ²	R_{el} /MPa ²	A (%)	Z (%)	A_{KV} /J
1600	1400	5	25	9

工艺优化 中频感应加热工序。以前在中频感应加热过程中经常出现加热温度过高和加热时间过长的现象,导致弹条过热过烧,出现严重的脱碳现象,对后续热处理及成品质量都有很大影响。所以,合理地确定和控制加热温度和加热时间非常重要。经过系统的试验分析和研究,最后确定加热温度为 $950\sim 1050^{\circ}\text{C}$,并且在加热过程中用红外测温仪检测并设置自控装置,当加热温度 $\geq 950^{\circ}\text{C}$ 或 $\leq 1050^{\circ}\text{C}$ 时开关自动断开,压力机踏板不执行操作。同时进送料采用链式机构自动续料,为保证加热均匀,工作频率为每分钟9~12根。这样弹条的氧化和脱碳都得到了有效控制,保障了后续的产品加工质量。

三序成形工艺。原有工艺采用组合模具,利用三道成形工序成形,成形过程如图2所示。

优化成形模具,提高成形质量。由于在高温条件下三道成形模具中安装使用的滚轮反复频繁地做挤压运动,时间长了容易磨损,容易在轮槽内部出现坑点、压痕、裂缝等,从而导致弹条在成形后表面出现划痕、凹痕或其他影响表面光洁平整的缺陷,进而形成疲劳裂纹源。因此,鉴于在高温环境下滚轮需要耐高温和耐磨损挤压滚动,制作滚轮的材料我们选用了耐热钢12Cr13、14Cr17Ni2或者是硬质合金来替代原有的普通合金钢和45钢材料滚轮。

此外,在成形工序中个别滚轮成了不能自由转动的固定轮子,这样在加工过程中由于滚轮不能转动,磨损始终集中在某块

区域,这样会加快滚轮的磨损,所以我们建议在以后设计安装滚轮时可以让滚轮自由转动,以便充分利用滚轮整个轮槽。

在第三道成形工序的上模具中,将模具与弹条的接触面设计成圆弧面,使模具与弹条表面平滑接触,弹条表面不产生擦痕,避免了表面缺陷的产生。

另外,原先用的Ⅲ序成形模具是组合模具,是由一个个散件模具组合在一起使用的。因为是组合模具,所以每次更换模具后都要重新试验、调整、打磨新模具,配合不好就会影响弹条的成形质量,尺寸变化范围大,产品质量不稳定等。而且人工调整打磨全凭经验,模具没有固定的尺寸限定,时间长,降低了弹条的正常生产效率。综合以上因素,针对组合模具零散件多,组合麻烦,人工调整配合难度大,尺寸控制不精确等缺点,我们研制了一种整体结构的新型Ⅲ序成形模具来替代原有的组合模具。新模具的加工尺寸严格按照弹条成品成形的尺寸来制造,在更换模具后使用的过程中无需人工进行调整,可以直接使用,大幅缩减了模具更换时间,提高了弹条成形的稳定性和尺寸精度的要求,提高了生产效率和合格率。原有组合模具和整体新模具(见图3)。

用整体新型模具稍作调整后,进行试加工,加工出来的弹条整体质量稳定,符合技术规范使用要求和尺寸标准,保障了模具的迅速更换和产品质量精度的稳定性。

淬火。增加温度检测、报警

装置。根据弹条现有的淬火工艺要求,弹条入油温度应在 $830\sim 880^{\circ}\text{C}$ 之间,淬火油的温度应在 $(40\pm 20)^{\circ}\text{C}$ 之间,淬火时间不宜过长,应在 $3.5\sim 4\text{min}$ 之间,淬火时间过长或过短都会影响弹条的性能。由于之前没有温度控制检测装置,只能靠感应加热炉来定温度,没有充分考虑到弹条在三道成形过程中的温度下降问题,导致弹条入油温度经常会出现范围性的不稳定,温度过高或过低以及淬火油温的把控问题以前没有引起足够的重视,导致会出现弹条淬火后性能达不到技术要求。针对这些问题,我们增加了温度检测、报警装置。用光导纤维红外辐射温度计检测工件入油前温度,当弹条入油前温度 $\leq 830^{\circ}\text{C}$ 或 $\geq 880^{\circ}\text{C}$ 时,导向槽上的下隔板自动向下打开将弹条

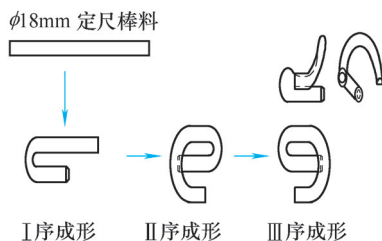


图2 D1弹条成形示意

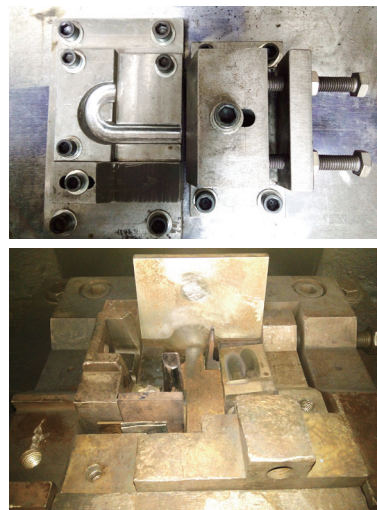


图3 原有组合模具

由落件孔掉入隔离箱。当弹条入油温度在830~880℃之间时,上隔离板动作打开,弹条顺导向槽自然滑落到淬火油槽中。淬火油的油温用温度计配油温自动报警装置检测,当淬火油温 $\geq 60^{\circ}\text{C}$ 或 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ 时将自动报警,这样能及时检查并作出调整。增加温度检测、报警装置后,弹条的淬火稳定性大幅提高。

回火。在原有工艺下弹条回火温度应控制在 $480^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 范围内,回火时间在120min。但在回火后经常出现弹条疲劳强度不高以及在成品疲劳试验时经常出现脆性断裂的情况。经过分析我们认为出现这种情况是因为弹条回火后没有快速冷却导致产生第二类回火脆性所致。第二类回火脆性主要发生在Cr、Mn或Cr-Ni、Cr-Mn等合金钢中。Ni、Cr、Mn不论单独加入还是复合加入钢中,均会促进钢的回火脆性的产生,其影响按Ni、Cr、Mn元素的顺序增大,当它们复合加入时影响更大。钢中Cr和Mn的质量分数的总量超过1%时会发生明显的高温回火脆性。而60Si2MnA材料中Cr、Ni、Mn元素的含量刚好符合这一情况,所以我们要抑制第二类回火脆性的产生。因此,我们在回火炉后增加了一个水冷池,弹条从回火炉中出来后直接进入水池中快速冷却,防止二次回火脆性的产生对弹条造成的表面压应力和降低疲劳强度现象的产生,有效控制了弹条的成品脆性,提高了抗疲劳强度。

抛丸处理。利用抛丸机抛头上的叶轮在高速旋转时的离心力

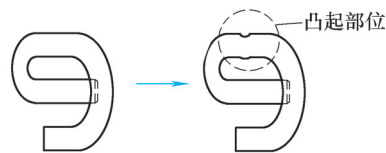
把丸料以很高的线速度射向被抛丸的钢件材料表面,产生打击和磨削作用,除去弹条表面的氧化皮和锈蚀,并产生一定的表面粗糙度,提高表面喷涂附着力,使工件表面呈现基体本色,为后面的静电喷涂工艺做准备。

丸粒按材质划分有石英砂和钢丸等。而钢丸按材质又分为铸铁丸、铸钢丸、合金钢丸、不锈钢钢丸等。以前抛丸工艺用的都是铸铁丸,每次抛丸时间为20~30min,时间长,而且发现经抛丸后的工件表面会出现一些新增的伤痕,影响产品质量。经过学习研究发现原来是因为铸铁丸由于质脆,长时间使用容易破碎形成锐利的棱角,致使被抛工件表面产生伤痕,成为应力集中点,从而成为疲劳破坏源。经过研究对比各种钢丸的使用性和经济性,最后我们决定采用铸钢丸来代替原有的铸铁丸,选用 $\phi 0.8\text{mm}$ 大小的铸钢丸,抛丸时间在5~10min,提高了效率,也改善了抛丸后的表面质量。

(4) 弹条局部设计改进 如图4所示,针对在现场实际使用中出现过的弹条在长期使用后出现从预埋铁座中滑脱的现象,作者对弹条的局部结构设计进行了研究改进,在原有弹条形状结构基础上增加一个凸起部位,增加弹条零固件配合使用之间的摩擦力,避免弹条在使用过程中由于长期受到挤压力的作用从而产生向外滑移的现象,增加了弹条扣件的使用寿命和安全系数。

因弹条结构有了更改,所以在原Ⅱ序成形后,Ⅲ序成形工艺之前增加了一个新的“挡肩凸

起”工艺。弹条结构改动后,试制了一批新弹条,各项技术参数均能满足铁道部规定的原有技术要求,在室外安装后用侧压力去作用在弹条上发现要比原先大得多的侧压力才能使弹条在铁座板中产生向外的滑移,因此,采用新结构后弹条的使用寿命和安全系数都有了一定的提高。



原有弹条结构 增加凸起后的弹条结构

图4 弹条结构改进

3. 结语

经过工艺和结构改进后,DI弹条的产品质量得到了明显提高,产品合格率保持在了一个稳定的范围内,弹条的疲劳寿命和实际使用中的安全系数都得到了一定的提高,具有一定意义的参考价值 and 推广作用。

参考文献

- [1] 盛伟,付传锋. 高速铁路扣件系统的类型与应用[J]. 金属加工: 热加工, 2010(7): 31-35.
- [2] 徐德祥,尹钟大. 弹簧钢高强度化及合金元素的作用[J]. 金属热处理, 2003(12).
- [3] 沙峰. 抛丸机抛丸技术的研究与应用[J]. 自动化应用, 2014(10).

作者简介: 牛静波, 机械助理工程师, 河北翼辰实业集团有限公司。

MW 20161028