

从铁道车辆铸钢摇枕、侧架制造标准发展变化看无损检测技术的重要性

张浩喆¹, 宋全知², 刘 妍²

(1. 中国航发西安航空发动机有限公司, 陕西西安 710021; 2. 中车齐齐哈尔车辆有限公司, 黑龙江齐齐哈尔 161002)

摘要: 以近二十年国内铁道车辆铸钢摇枕、侧架制造标准发展历程为主线, 梳理了无损检测技术在摇枕、侧架质量检测方面的应用和变化, 重点对TB/T3012—2006和TB/T3012—2016两版摇枕、侧架制造标准中无损检测技术应用和要求进行了对比分析。对数字射线检测技术和工业计算机层析成像检测技术在铸钢件检测方面的应用进行了介绍, 这有助于铸造和无损检测工艺人员理解和应用铁道货车铸钢摇枕、侧架制造和相关无损检测标准。

关键词: 摇枕; 侧架; 无损检测; 标准; 射线检测; 密实度

铁道车辆铸钢摇枕、侧架作为铁路货车走行部分十分重要的部件, 其制造质量直接影响到铁路运输安全。为了保证铁路运输安全, 除了提高其产品制造质量, 还应运用可靠的检测技术, 保证产品检测质量。由于无损检测技术对缺陷检测应用范围广, 能够对产品进行百分之百检验或逐件检验, 而且检测结果可靠性好, 灵敏度高, 因此无损检测技术在航空航天、铁道、电力、核工业、石油天然气等许多行业的产品制造过程检验和最终质量检验中普遍采用^[1]。为了适应铁道货车提速、重载的发展要求, 无损检测技术作为一种保证产品制造质量的有效方法而被广泛应用。目前, 铁道货车摇枕、侧架、车钩铸件全部采用湿法整体磁粉探伤, 抽检方式对摇枕、侧架关键部位进行射线检测, 强化了铁路铸钢件质量控制手段^[2]。

铁道货车摇枕、侧架铸造过程容易产生各种缺陷, 并且运行环境恶劣, 承受着重载荷交变应力, 极易产生疲劳裂纹, 导致疲劳损坏失效^[3]。此外, 运行过程中由于重要部位的铸造缺陷或焊补缺陷漏检将会引起突然发生的裂损失效。以上失效会对铁路运输安全埋下隐患, 有可能引发安全事故。因此, 根据铸件材质和生产工艺, 选定电磁探伤、磁粉探伤、超声探伤、射线探伤等设备或组合应用, 提升铸件质量评价能力, 对铸造行业发展具有重要意义^[4]。在铁道车辆铸钢摇枕、侧架制造标准发展历程中可以看出无损检测技术的应用变化和其重要性。

1 铁道货车铸钢摇枕、侧架制造标准发展和演变过程

1.1 TB/T 3012—2001

1977年由原铁道部发布了我国第一个统一的摇枕、侧架专用标准, 即TB 1248—1977《货车铸钢摇枕和侧架技术条件》, 1986年对该标准进行了第一次修订。20世纪80年代末期, 第二次修订了该标准, 将摇枕、侧架分别制定为2项标准, 即TB/T 2238—1991《铁道货车铸钢侧架技术条件》和TB/T 2239—1991《铁道货车铸钢摇枕技术条件》。1999年原铁道部组织合并修订了TB/T 2238—1991和TB/T 2239—1991, 颁布了TB/T 3012—2001《铁道货车铸钢摇枕、侧架采购与验收技术条件》, 该标准在技术内容上等效采用AAR M 210: 1990标准, 并根据我国铁路需要增加了部分技术内容^[5]。以上我国摇枕、侧架专用标准中均未应用无损检测技术, 但在TB/T

作者简介:

张浩喆(1992-), 男, 助理工程师, 硕士, 主要研究方向为无损检测技术应用。电话: 13572017620, E-mail: zhanghaozhe1992@163.com

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2020)05-0517-06

基金项目:

重庆市技术创新与应用发展项目资助(CSTC2019JS CX-MSXM0530)。

收稿日期:

2019-07-09 收到初稿,
2020-04-12 收到修订稿。

3012—2001颁布实施之前,运装货车[1999]39号《关于公布铁道货车用B级钢摇枕侧架供货技术条件(试行)的通知》中明确提出摇枕、侧架A、B部位裂纹焊修后,应采用磁粉探伤法检查,首次提出应用无损检测技术。随后颁布实施的运装货车[2000]129号“关于印发《铁路货车铸钢摇枕侧架磁粉探伤技术条件》(试行)的通知”要求必须对新造、厂(段)修货车转向架摇枕侧架进行磁粉探伤,以保证摇枕侧架上的裂纹等危险性缺陷及时发现,并得到相应处理。这是我国铁路货车摇枕、侧架第一项无损检测专用技术条件。

1.2 TB/T 3012—2006

2005年,为了适应铁路运输重载、提速的需要,原铁道部组织修订了TB/T 3012—2001,修订后的标准为TB/T 3012—2006《铁道货车铸钢摇枕、侧架技术条件》,铁道货车摇枕、侧架制造标准中首次提出了对摇枕、侧架实施射线探伤和整体磁粉探伤的要求。为了保证TB/T 3012—2006的有效执行和完善摇枕、侧架探伤技术要求,运装货车[2007]310号《关于印发铁道货车铸钢摇枕、侧架无损检测四个技术条件的通知》颁布了《铁道货车铸钢摇枕、侧架射线照相检验技术条件》《铁道货车铸钢摇枕、侧架超声波探伤技术条件》和《铁道货车铸钢摇枕、侧架超声波测厚技术条件》,并要求对摇枕侧架实施湿法荧光磁粉探伤。荧光磁粉光学性能优于黑磁粉,可以快速识别缺陷,能有效避免漏检和降低探伤人员劳动强度,探伤灵敏度和可靠性比较高^[6]。由于铸件的表面缺陷严重影响了其使用、可靠性以及力学性能,针对铸件表面缺陷检测日益成为一个热门的研究领域^[7]。此时,我国铁道货车铸钢摇枕、侧架湿法荧光磁粉探伤已经达到百分之百检测,对提高产品表面质量有很大促进作用。

在运装货车[2007]310号文中颁布的技术条件和TB/T 3105—2005《铁道货车铸钢摇枕、侧架磁粉探伤》基础上,2009年分别颁布实施了TB/T 3105.1—2009《铁道货车铸钢摇枕、侧架无损检测第1部分:射线照相检验》、TB/T 3105.2—2009《铁道货车铸钢摇枕、侧架无损检测第2部分:超声波探伤》、TB/T 3105.3—2009《铁道货车铸钢摇枕、侧架无损检测第3部分:磁粉探伤》以及TB/T 3211—2009《机车车辆用铸钢件射线照相检验参考图谱》,2014年颁布实施了TB/T 3105.4—2014《铁道货车铸钢摇枕、侧架无损检测第4部分:数字化射线成像及工业计算机层析成像检测》。其中射线数字成像(DR)和工业计算机层析成像(工业CT)检测技术的应用研究与试验,实现了摇枕、侧架内部缺陷高效率、高精度的检测与评价,为提升其铸造质量和工艺稳定性,分析、改进、优化铸造工艺提供了

科学、有效的检测方法。

1.3 TB/T 3012—2016

2012年原铁道部组织有关单位对TB/T 3012—2006进行修订。此次修订仍然是在原标准的基础上进行,并参照了AAR M 210:2009标准,无损检测技术方面主要增加了数字化射线成像要求内容。修订后的TB/T 3012—2016《铁道货车铸钢摇枕、侧架》已于2016年12月发布,并于2017年7月1日正式实施。目前,铁道行业摇枕、侧架制造和无损检测各项标准已基本形成一套完整的、应用性较强的标准体系。从铸钢摇枕、侧架标准的发展演变过程和历次修订情况看,我国摇枕、侧架无损检测技术应用能力和要求等级已经高于AAR M 210标准。

2 TB/T 3012—2006和TB/T 3012—2016中无损检测技术及密实度检查要求对比分析

铸造生产是多工序复杂的过程。每一工序的质量控制优劣,最终将体现到铸件的质量上,这就给铸件的质量控制带来了一定的困难。因此,通过无损检测技术及早发现缺陷,从缺陷的特征以及铸件的特点找出导致产生缺陷的原因,针对产生缺陷的原因采取相应措施消除缺陷,从而改进、完善铸造工艺^[8],对摇枕、侧架质量提升有很重要的意义。以下是针对TB/T 3012—2006和TB/T 3012—2016标准中磁粉检测、射线检测和密实度检查在技术要求、检验方法及检验规则等方面进行的梳理、对比分析和总结,有助于铸造人员了解无损检测技术应用。

2.1 总体对比分析

TB/T 3012—2006在工艺要求条款中提出了摇枕、侧架应进行磁粉检测、射线检测和密实度检查,在试验方法和检验规则条款中给出了采用的检测标准和相应规则,但该标准颁布实施时铁道行业并没有摇枕、侧架射线检测相应的技术条件或标准。TB/T 3012—2016在技术要求条款中明确提出了磁粉检测、射线检测和密实度检查质量等级要求,在检验方法条款中给出了相应的检查方法或应采用的检测方法标准,并在检验规则中按照型式检验、周期检验、出厂检验三种方式将磁粉检测、射线检测和密实度检查等检验项目列表归类,规定了相应的检验频次、数量及相应的检验规则等,同时将检验项目与检验要求、检验方法通过列表的方式相关联,条理更加清晰,要求更加明确,方便管理、技术人员理解和确认。

2.2 磁粉检测对比分析

TB/T 3012—2006和TB/T 3012—2016在摇枕、侧架磁粉检测时机、频次、方法、部位及焊修后检验等要求相同，但TB/T 3102—2016明确将磁粉检测以表面质量检验项目归类为出厂检验和型式检验，从而更加明确了方法的检验规则。同时，在质量等级要求方面规定了摇枕、侧架探伤部位不允许存在的缺陷类型和允许存在的缺陷类型、方向、尺寸及分布等相关要求，与TB/T 3105.3—2009形成了完整的闭合。

2.3 射线检测对比分析

对于摇枕、侧架射线检测部位，新旧版标准没有变化，但在检测方法、质量等级和采用的评定标准方面有所改变。TB/T 3012—2006只允许采用射线胶片照相，评定标准为ASTM E 446-98，质量等级要求为5级；TB/T 3012—2016射线胶片照相要求按照TB/T 3211进行评级，并按照摇枕、侧架A部位、B部位分别给出了各个布片位置各类缺陷允许的最高评定级别，其级别要求与TB/T 3105.1中的质量评定要求相比，增加了转K7型摇枕、侧架评定级别要求，其他型号摇枕、侧架各部位气孔类、夹渣或夹砂类、收缩类缺陷级别要求一致。

TB/T 3012—2016增加了按照TB/T 3105.4要求实施检测和评价的数字射线检测，以资料性附录形式给出了DR无损检测质量评定参考图谱，对于质量等级方面要求：摇枕、侧架A部位数字化射线成像检验结果应符合TB/T 3105.4中规定的不超过4级的要求，B部位数字化射线成像检验结果应符合TB/T 3105.4中规定的不超过5级的要求^[9]。此外，TB/T 3012—2006和TB/T 3012—2016两版标准中均要求射线检测结果超过规定的A类、C类缺陷应按密实度进行评定，其中A类缺陷指气孔类缺陷，C类缺陷指收缩类缺陷。

综上所述可知，A类、C类缺陷射线检测结果不能作为摇枕、侧架周期检验质量评定最终判定结果，B类（夹砂或夹渣）缺陷超过标准要求质量等级和裂纹缺陷可以作为摇枕、侧架周期检验质量评定不合格的

最终判定结果。

在检验规则方面，TB/T 3012—2006要求首次投产的摇枕、侧架应对A部位、B部位进行射线探伤检查，制造工厂应至少每季度对所生产的两个摇枕和侧架的A部位、B部位进行射线探伤检查。TB/T 3012—2016取消了首次投产的摇枕、侧架射线检测要求，将射线检测规定为周期检验，要求正常生产中，每一种型号的摇枕、侧架应每三个月各抽检1件进行射线照相或数字化射线成像检验。射线检测检验规则不同要求对比如表1所示。

随着摇枕、侧架射线检测技术的不断发展和相应标准体系的不断完善，TB/T 3012—2016版标准中对摇枕、侧架射线检测方法、评定的要求针对性和应用性更强，TB/T 3211—2009《机车车辆用铸钢件射线照相检验参考图谱》和TB/T 3105.4—2014中附录D《DR无损检测质量评定参考图谱》是铁路货车制造单位无损检测人员多年来对摇枕、侧架射线检测底片或图片的不断积累，经过严格对比、评价、分类、筛选、修订等环节制作定稿，其缺陷类型和等级设置更符合我国铁路货车铸钢摇枕、侧架铸造工艺要求和运用安全实际情况。射线检测周期要求针对不同型号产品进行抽检，生产制造产品型号多，抽检数量明显增加，较原有规定更加科学合理。

2.4 密实度检查对比分析

TB/T 3012—2006和TB/T 3012—2016均要求对指定部位进行密实度解剖检查，按照密实度标准图片进行等级评定，工艺补贴和冒口不计入在评定区域的尺寸范围内，但解剖位置标注所用产品图结构和解剖位置均有变化。另外，新版标准要求评定区域内所在截面的集中缩孔的面积不应超过该部位截面内切圆的30%，是针对密实度检查结果新增的判定方法。在检验规则方面，两版标准要求变化较大，TB/T 3012—2016将密实度解剖试验规定为型式检验和周期检验，其抽检频次和数量等要求明显增加，密实度检验规则不同要求对比如表2所示。

表1 射线检测检验规则不同要求对比
Table 1 Comparison of radiography testing requirements

对比项目	TB/T 3012—2006	TB/T 3012—2016
胶片射线检测评定标准及等级	ASTME446-98规定的5级	TB/T 3211—2009，合格等级按附录C评定
射线数字成像检测、评定标准及等级	无	TB/T 3105.4—2014，A部不超过4级，B部不超过5级
射线检测验收方法及要求	5级以上A类、C类缺陷按密实度标准评定	超过规定的A类、C类缺陷，按密实度标准评定
检验周期	至少每季度对所生产的两个摇枕和侧架的A部位、B部位进行检验	每一种型号产品每三个月各抽检一件

表2 密实度检验规则不同要求对比
Table 2 Comparison of compactness requirements

对比项目	TB/T 3012—2006	TB/T 3012—2016
试制期	试制阶段, 应至少抽取两件不同炉号的样品进行解剖	首次投产或试制完成, 应至少抽取两件不同炉号的样品进行解剖
生产场地转移	无	铸造生产场地转移时, 应至少抽取两件不同炉号的样品进行解剖
铸造工艺重大改变	铸造工艺有重大改变, 如重制模样、改变浇注系统、改变型砂材料等时, 至少解剖一件, 合格后方投入可生产	当产品结构或制造工艺有重大改变时, 如重制模样、改变浇注系统、型砂、热处理方法和规范改变, 应至少抽取两件不同炉号的样品进行解剖
产品停产两年	无	产品停产两年级以上恢复生产时, 应至少抽取两件不同炉号的样品进行解剖
连续生产三年	无	连续生产三年时, 应至少抽取两件不同炉号的样品进行解剖

3 射线检测技术在摇枕、侧架质量检查的应用

自2007年, 摇枕、侧架射线检测技术条件颁布实施, 减少了密实度检查对产品解剖破坏数量, 对铸造工艺质量控制有很大帮助, 但由于检测效率限制, 仅能实现少量抽检。随着数字化技术的发展, 数字阵列探测器的面世给射线检测带来重大变革。DR和工业CT检测技术在铁路货车铸钢摇枕、侧架内部缺陷检测的应用, 一方面, 提高了检测效率, 能够实现批量检测, 检测结果数字化, 优化了评定方法, 减少了由暗室处理过程产生的废液和胶片、增感屏造成的环境污染; 另一方面, 利用工业CT检测技术实现了铸件虚拟密实度解剖。

3.1 数字射线与胶片照相检测对比

数字射线检测技术与常规胶片射线照相检验技术相比, 基本不同的是采用了辐射探测器代替胶片完成射线信号的探测和转换, 采用了图像数字化技术获得数字检测图像。实际经验证明, 数字射线图像与胶片照相底片显示结果并不是各方面都相同, 从成像过程基本理论考虑, 其为两个成像系统。目前, 数字射线检测技术应用讨论的重点是等价性问题^[10]。如图1所示, 采用线阵探测器数字射线检测摇枕获取的图像, 图2为胶片照相检测摇枕的底片照片, 其检测部位相同, 透照布置均为单壁透照。

3.2 工业CT检测与密实度检查结果对比

射线源在受控状态下产生扇形高能X射线, X射线穿透待检工件后发生衰减, 不同的衰减程度反映了工件内部信息, 探测器及后续系统接收X射线并将其转换为数字信号, 在DR扫描过程中, 通过射线源和探测器的平移获取整体投影数据, 在CT扫描过程中, 通过工件的旋转从多个角度获取投影数据, 对所获投影数据进行处理、重建, 即获得工件的透射和断层图像^[11-12]。

如图3和图4所示为工业CT检测图像与密实度解剖图片对比。从检测效率和效果考虑, 工业CT检测不仅效率高, 而且缺陷检测灵敏度明显优于密实度解剖, 能够实现产品连续断层的密实度虚拟解剖, 但由于射线源穿透能力和检测系统结构布局限制, 侧架的工业CT检测位置与密实度解剖有差别。

除了实现虚拟密实度解剖和内部缺陷高精度、高效率的检测外, 利用工业CT检测技术完成产品内部结构尺寸测量和基于工业CT检测技术的逆向工程应用^[13-17], 对铸造质量和铸造工艺水平的提升具有更重要的意义。如图5为某种型号发动机内腔壁厚尺寸测量工业CT检

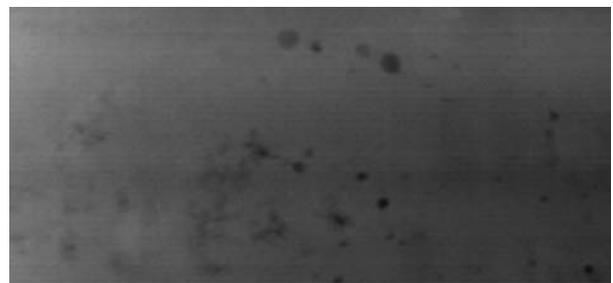


图1 数字射线检测图像
Fig. 1 DR image



图2 底片照片
Fig. 2 Photo of film

测图像，图6为基于工业CT检测轮辋部位辋裂缺陷三维实体图。利用工业CT检测技术可重新得到材料的几何数据，结果可用于缺陷检测、材料和几何变量的研

究，亦可进行裂纹的三维位置、形状分析及测量数据和CAD数据的比较，通过缺陷特征分析可优化铸造过程，极大提高铸件质量^[18]。

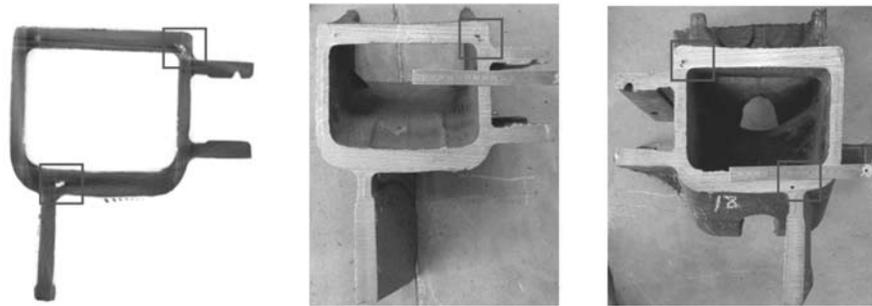


图3 侧架工业CT图像与实物解剖图片对比

Fig. 3 Comparison of industrial CT image and section images of side frame casting

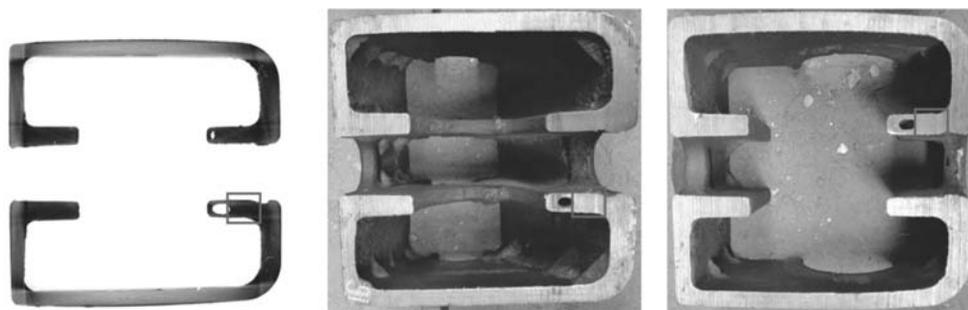


图4 摇枕工业CT图像与实物解剖图片对比

Fig. 4 Comparison of industrial CT image and section images of bolster casting

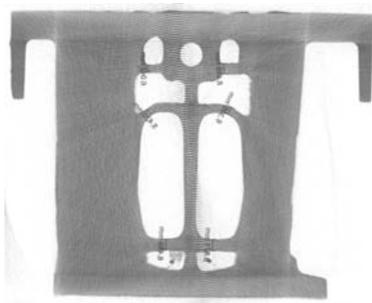


图5 内腔壁厚尺寸测量工业CT检测图像

Fig. 5 Industrial CT image of internal structure size

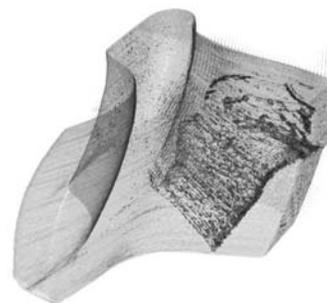


图6 轮辋辋裂缺陷三维实体图

Fig. 6 Three dimensional solid diagram of rim crack defect

4 结束语

通过对我国铁道车辆铸钢摇枕、侧架制造标准发展历程的梳理，可以发现摇枕、侧架无损检测标准已经形成一套能够控制产品质量，促进提高铸造工艺水平的完整体系。在对TB/T 3012—2006和TB/T 3012—2016标准中无损检测技术及密实度检查要求的对比分析中，不仅总结了各项检测技术的检验要求、检验周期及评价标准，而且介绍了DR和工业CT检测技术在产品缺陷检测、尺寸测量、逆向工程方面的实际应用，有助于铸造设计和工艺人员了解并合理采用无损检测方法控制铸件质量，在提升铸造工艺水平方面有的放矢。

参考文献:

- [1] 王晓雷, 强天鹏, 周天锡, 等. 承压类特种设备无损检测相关知识 [M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2007.
- [2] 徐宝贵, 曹健峰, 朱正锋. 中国铁路关键铸钢件生产质量控制 [J]. 铸造, 2010, 59 (9): 973-976.
- [3] 余小清. 铁道货车摇枕侧架探伤方法探讨 [J]. 无损检测, 2006, 28 (5): 276-278.
- [4] 李大勇, 马旭梁, 王录才, 等. 铸造技术路线图: 普通砂型铸造装备与检测技术 [J]. 铸造, 2017, 66 (8): 789-801.
- [5] 蒋田芳, 朱正锋, 张文斌. 铁道货车铸钢摇枕和侧架标准综述 [J]. 铁道技术监督, 2017, 45 (5): 3-8.
- [6] 徐延军. 客车悬吊件湿法磁粉探伤试验 [J]. 铁道机车车辆, 2002 (5): 51-52.
- [7] 雷艇. 基于Matlab的铸造件表面缺陷图像预处理 [J]. 传动技术, 2017, 31 (2): 35-37.
- [8] 戴雪梅, 苏清风, 朱晓星等. 荧光渗透检测在航空发动机研制阶段的应用 [J]. 铸造, 2011, 60 (10): 994-997.
- [9] TB/T3012—2016 铁道货车铸钢摇枕侧架 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [10] 郑世才, 王晓勇. 数字射线检测技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014: 144-145.
- [11] 康克军. 实验工业CT系统及其图像重建方法研究 [D]. 北京: 清华大学, 1988.
- [12] 陈志强, 李亮, 冯建春. 高能射线工业CT最新进展 [J]. CT理论与应用研究2005, 14 (4): 1-4.
- [13] 金涛, 董水光. 逆向工程技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [14] 王霄, 刘会霞, 梁佳洪. 逆向工程技术及其应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [15] 程俊廷. 反求工程关键技术的研究 [D]. 辽宁工程技术大学, 2002.
- [16] H James De St Germain. Reverse Engineering Utilizing Domain Specific Knowledge [D]. The University of Utah, 2002.
- [17] ROLLS C J. CAD model construction from CMM and laser scanning data for reverse engineering [D]. Windsor, Ontario, Canada: University of Windsor, 2001.
- [18] 徐丽, 刚铁, 张明波, 等. 铸件缺陷无损检测方法的研究现状 [J]. 铸造, 2002, 51 (9): 535-540.

Importance of Nondestructive Testing Technology from the Development and Change of Manufacturing Standards for Railway Vehicles Cast Steel Bolsters and Side Frames

ZHANG Hao-zhe¹, SONG Quan-zhi², LIU Yan²

(1. AECC Xi'an Aero-Engine Ltd., Xi'an 710021, Shaanxi, China; 2. CRRC Qiqihar Rolling Stock Co., Ltd., Qiqihar 161002, Heilongjiang, China)

Abstract:

Based on the development process of manufacturing standards for cast steel bolster and side frame of railway vehicles in recent 20 years, the application and change of nondestructive testing technology in the quality inspection of bolster and side frame are presented. The application and requirements of nondestructive testing technology in the manufacturing standards for bolster and side frame of TB/T 3012—2006 and TB/T 3012—2016 are compared and analyzed. This paper also introduces the application of DR (digital radiography) and industrial CT (computed tomography) technology in the detection of steel castings, which is helpful for the foundry and NDT technologists to understand and apply the manufacturing of cast steel bolster and side frame of railway wagons and relevant NDT standards.

Key words:

bolster; side frame; nondestructive testing; standard; radiography testing; compactness