

军用组合式集装箱联结器失效分析

李勤真^{1,2}, 田润良², 王金松²

(1. 天津大学, 天津 300163; 2. 军事交通学院, 天津 300161)

摘要: 简要介绍了军用组合式集装箱联结器常见的失效形式, 分析了各种失效的原因。指出军用组合式集装箱联结器在设计、制造、使用中的任何一个环节的不当, 都可能会造成其失效; 军用组合式集装箱联结器的失效原因, 涉及到从材料、加工、结构、受力、使用环境到相关零件分析的多个过程。给出了一些典型工程失效分析案例, 提出了相应的预防改进措施。

关键词: 军用组合式集装箱; 联结器; 失效分析; 疲劳

中图分类号: U464 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)05-0008-05

Failure Analysis of Military Assembled-container Connector

LI Qin-zhen, TIAN Run-liang, WANG Jin-song

(1. Tianjin University, Tianjin 300161, China; 2. Academy of Military Transportation, Tianjin 300161, China)

Abstract: The main failure forms of military assembled-container connector were introduced and their possible causes were analyzed. It was put forward that any lapsus in the process of design, manufacture, and use would result in connector failure. The causes of connector failure can be related to the factors of material, machining, structure, operating loads and application environment. Some typical instances coming from practical production were provided and some measurements to improve and control part qualities were suggested.

Key words: military assembled-container; connector; failure analysis; fatigue

联结器是用来将JY7型或JY5型集装箱联结成ISO-20集装箱的专用锁具, 它是军用组合式集装箱最重要的零部件之一。在对军用组合式集装箱进行装卸、运输、搬运、堆码等过程中, 联结器的受力情况非常复杂, 承受着弯曲、扭转和挤压等载荷的作用。这些载荷不仅数值较大, 而且一般呈周期性变化, 容

易引起联结器的扭转、弯曲变形甚至产生裂纹和断裂。联结器形状较复杂, 实际上是在长度方向上交错分布的多个主轴颈与连杆颈的连接体。这些连接过渡部位不可避免地存在着圆角等过渡区, 往往成为应力集中处。联结器无论是在军用组合式集装箱的装卸与搬运中还是在运输和堆码过程中, 都是整

收稿日期: 2011-03-09

基金项目: 总后勤部军事交通运输部(交020101)

作者简介: 李勤真(1974—), 男, 河北冀州人, 博士研究生, 副教授, 主要从事汽车运输勤务、军用集装箱运输、军交运输信息化建设等方面的研究。

个箱体受力最为集中的部位,因而也是整个军用组合式集装箱中典型的易损件之一,且一旦损坏后往往会造成严重的后果,极易引起军用组合式集装箱和箱内物资的毁损。

联结器的制造材料要求具有足够的强度、较高的冲击韧性和疲劳强度。最初生产的联结器材料主要采用40Cr, 40MnB, 42CrMo等中碳钢,后来逐渐使用48MnV, C38N2等非调质钢。它们的主要优点是在强度等级与调质钢相同的情况下,省去了调质工序,且一般与调质钢相比,具有更好的机加工性能。采用球墨铸铁铸造的联结器因其在成本、工艺上的优点也得到了很好的应用^[1]。联结器在设计、原材料选用、锻造、机械加工、热处理、校直、表面强化、装配、使用等每个环节的不当,都可能会造成其失效。文中结合近年来生产和使用实际中的案例,简要介绍了军用组合式集装箱联结器常见的失效形式及其原因。

1 常见失效形式及原因分析

1.1 校直引起原始裂纹

对于锻钢联结器,在锻造、热处理等过程中必然产生变形,在生产中可采用校直的方法将其消除。无论是热校还是冷校,一旦校直幅度过大,都可能导致联结器产生裂纹,且这种裂纹一般肉眼无法观察到。若联结器本身存在原始裂纹,在使用过程中一般时间不长就会因疲劳扩展而断裂。对于此类裂纹,分析时应注意与其它常见裂纹如锻造裂纹、淬火裂纹等的区别。

某型军用组合式集装箱联结器,材料为48MnV,在进行集装箱吊装作业时断裂,断裂部位在联结器长连杆颈处。断口起源于联结器长连杆颈圆角偏第一主轴颈一侧,裂纹以最短路径穿向长连杆颈,源区有一新月形粗糙区(见图1中黑色箭头所指)。该区表面粗糙,可见放射棱线。此区域以外,可见明显的疲劳弧线绕新月形粗糙区向外扩展,为明显的疲劳扩展区。最后的瞬断区与疲劳扩展区几乎垂直,面积很小,断面粗糙,见图1中白色箭头所指处。

扫描电镜分析表明,新月形粗糙区擦伤严重,未见明显的疲劳特征,说明该区域不是疲劳扩展区,其形成应在断口疲劳扩展之前。零件化学成分符合



图1 长连杆颈断口形貌

Fig. 1 Appearance of fracture at the long link neck

48MnV材料技术要求;金相组织为片状珠光体+少量铁素体,是48MnV非调质钢的正常组织。

由于裂纹源区并非轴颈淬火区,因此可以排除淬火裂纹的可能性,同时其形态也有别于锻造裂纹。分析认为,该联结器是在校直过程中产生了裂纹,其后在使用过程中经疲劳扩展而断裂的。联结器校直开裂情况在生产中并不多见,但此类故障一旦发生则危害较大。对于此类故障,应考虑对校直后的联结器再进行一次探伤,避免有裂纹的联结器投入使用。

1.2 圆角淬火工艺不当

轴颈圆角是联结器加工难度最大,同时也是使用中最容易成为裂纹起源的位置。为了提高联结器疲劳强度,一般需要对圆角进行强化处理。对于球铁联结器,目前多采用圆角滚压强化工艺或先氮化再滚压强化的复合强化工艺。对于钢制联结器,多采用碳氮共渗或感应淬火强化工艺^[1]。早期生产的联结器感应淬火区域仅仅局限在轴颈部分,主要对轴颈起提高耐磨性的作用,淬火区离圆角仍然有大于6 mm以上的距离,因此对圆角并不起强化作用。目前采用的感应工艺,淬火区域普遍包含圆角区域。事实证明这种方式能够明显提高联结器圆角的疲劳强度。目前,对联结器圆角的强化处理已经成为必须的工艺过程。圆角强化工艺不当,联结器达不到应有的疲劳强度,就有可能会在使用过程中产生疲劳断裂。

某型军用组合式集装箱在进行堆码作业时损坏,其中包括箱体发生开裂、联结器断裂。经现场分析判断是由联结器最先断裂使箱体坠地引起开裂所致,因此分析的重点在于找出联结器断裂的原因。

联结器断裂部位在第一主轴颈和长连杆颈之

间。断口宏观形貌如图2所示,裂纹起源于第一主轴颈圆角处。断口可见明显疲劳弧线,呈现疲劳特征,疲劳扩展区占断口的绝大部分,而瞬断区只占断口的极小部分。联结器在进行设计时要求:全部主轴颈及圆角、连杆颈及圆角都应进行表面感应淬火,硬度不小于HRC50,淬硬层1.5~4 mm。淬火层金相组织为细针状结构的马氏体或屈氏体-马氏体。

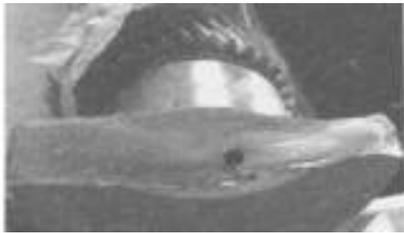


图2 主轴颈和长连杆颈间的断口形貌

Fig. 2 Appearance of fracture between the main axis neck and the long link neck

在联结器的第一主轴颈及圆角、长连杆颈及圆角和断口部分分别取金相试样进行分析,图3为第一主轴颈及圆角淬火区形态。分析结果可知,联结器为疲劳断裂,裂纹在圆角处起源。裂纹起源处圆角的淬火形态及层深不符合设计要求,这是导致联结器疲劳断裂的主要原因。对该批断裂联结器的分析表明,所有联结器圆角的淬硬层都不符合设计要求或根本未淬上火。进一步检查这批联结器的感应淬火过程,证实由于其感应淬火工艺不稳定,该批联结器均存在类似质量问题。在对感应淬火工艺控制稳定后,联结器未再出现类似故障。

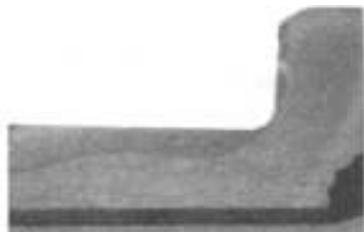


图3 淬火区形态

Fig. 3 Appearance of the quenching position

1.3 锻造质量问题

联结器材料的锻造质量涉及很多因素,原材料晶粒及晶粒长大倾向、锻轧比、锻造温度等都是重要的影响因素。生产中对材料的选用应该考虑能与锻

造工艺相匹配,避免在材料晶粒长大敏感区域停留时间过长^[2]。

某型军用组合式集装箱联结器,在进行集装箱叉举作业时,在联结器第二主轴颈处发生断裂,联结器的制造材料为SAE1548非调质钢。联结器的断口宏观形貌如图4所示,为棘轮状断口,裂纹从四周起源后向心部扩展,最后在心部发生断裂,最后断裂区约占整个断口面积的1/4。在扫描电镜下,断口的疲劳扩展区较为平坦,瞬断区断口的微观形态为沿晶韧窝。联结器的金相组织为珠光体+沿晶界网状铁素体,并有一定的魏氏组织倾向,晶粒粗大,晶粒度为1.5级,如图5所示。



图4 主轴颈断口宏观形貌

Fig. 4 Macro-appearance of the fracture at the main axis neck

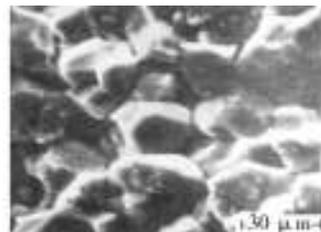


图5 断口处金相组织

Fig. 5 Microstructure at the fracture

联结器材料晶粒粗大并有魏氏组织出现,说明材料有过热倾向。通常这种情况被认为是较严重的组织缺陷,会严重损害材料机械性能,尤其是疲劳强度。断口出现沿晶韧窝形貌应与此有关,沿晶断口特征的出现,表明材料的脆性较大,在服役过程中其性能主要是由强度较弱的晶界主导。

综合分析认为,联结器为弯扭复合载荷作用下的疲劳断裂。断裂的主要原因是材料存在严重的组织缺陷,即晶粒粗大并有魏氏组织出现。要避免出现上述失效,应合理选材、加强锻造工艺控制等,同时应加强对零件的在线检查^[2]。

1.4 铸造缺陷

某型军用组合式集装箱联结器在使用过程中连续发生5个同批次的联结器断裂故障。其中如图6所示的联结器断在短连杆颈处,断口具有如下特征:1)断裂起源于短连杆颈中间位置,而没有靠近圆角处;2)裂纹源在箭头所指处,源区有肉眼可见的大面积缩孔,且部分缩孔已露在轴颈处,可从侧面轴颈处观察到孔隙存在;3)裂纹自缩孔处直接起源,可明显看到裂纹最早起源处不在表面,而在联结器内部的缩孔前沿;4)裂纹从源区疲劳扩展至图6中画线处,其扩展过程与油孔无直接关系。



图6 短连杆颈断口形貌

Fig. 6 Appearance of the fracture at the short link neck

联结器断裂的直接原因是其近表面基体内存在大面积缩孔。这种缺陷的存在,不仅降低了基体强度,而且引起应力集中,导致裂纹在此处萌生并扩展。根据化学成分分析结果可知,碳、硅含量偏低,这种情况导致铸件易于形成缩孔^[2]。

1.5 加工不当引起应力集中

联结器是典型受交变应力的零件,对各种应力集中因素非常敏感。联结器在设计中一般不存在明显的尖锐过渡处,但实际生产中,由于加工工艺的偏差,可能会在零件上留下诸如台阶、沟纹一类的外形缺陷。这类外形缺陷在使用中由于应力集中可能成为疲劳裂纹的起源。

某型军用组合式集装箱联结器,在用叉车进行集装箱搬运作业时发生断裂,联结器材料为48MnV,曾经过表面氮化处理。联结器断口的宏观形貌如图7所示,在过渡圆角与长连杆颈的加工面上存在一过渡台阶,裂纹由此处起源。断口有明显的疲劳弧线,疲劳裂纹起源处为一线源,疲劳扩展区面积较大,瞬断区面积较小。断口源区附近的侧面形貌如图8所

示,可以清楚地看到裂纹起源处的加工台阶。金相组织观察结果表明,长连杆颈圆角及轴颈表面均有氮化层,氮化层深约0.10 mm,基体组织为珠光体+呈网状分布的块、条状铁素体。

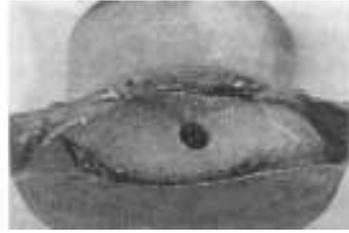


图7 联结器断口宏观形貌

Fig. 7 Macro-appearance of the fracture on the connector

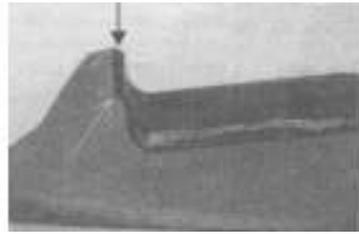


图8 加工台阶

Fig. 8 Machining step

联结器断口起源处未发现材料缺陷,基体组织、表面强化层组织与深度等未见异常。其起源不在应力最大的圆角处而在离开圆角约20 mm处的长连杆颈上,说明由于加工台阶的应力集中作用,使得此处的实际应力水平高于圆角而导致裂纹优先萌生。

1.6 联结器服役过程中的异常情况

军用组合式集装箱联结器在使用中的异常情况非常复杂,引起联结器损坏的形式也多种多样。很多情况下,仅凭对断口、轴颈表面形貌以及集装箱角件等方面的分析,难以确切判断出具体的失效原因,但这些分析工作有助于对失效性质的判定,并为最终确定失效原因提供依据。

某型军用组合式集装箱联结器在进行集装箱海上运输作业时发生断裂。联结器断口如图9所示,断裂起源于黑白箭头所指处,2个源区均在离圆角约25 mm处,向中间扩展,最后断在中间黑线附近,瞬断区面积很小。黑色箭头所指源区附近侧面形貌如图10所示,源区断面已磨光发亮,从断口侧面看,轴

颈相当大部分被烧成蓝黑色,并被磨掉一层。起源处被烧、被磨尤其严重,已明显凹下。裂纹起始阶段沿与轴向呈45°方向扩展,源区还存在另一与断面沿轴向对称的裂纹,该裂纹扩展一定阶段后停止。同样,图9中白色箭头所指裂纹源区也已严重被磨,在磨制金相试样时,发现同样存在一垂直断面面的裂纹,只是裂纹很小,肉眼看不出。

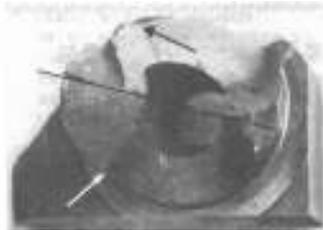


图9 联结器断口形貌

Fig. 9 Appearance of the fracture on the connector



图10 源区磨损形貌

Fig. 10 Appearance of abrasion in the fountainhead position

从断口形貌看,断口形式为明显的扭转疲劳断口。裂纹的形成扩展呈大致对称的形态,说明裂纹起源与受力相关,而起源于缺陷的可能性较小。瞬断区面积较小,说明联结器最后断裂时的应力较小。

金相组织观察结果表明,石墨球化率为3级,石墨球大小为5级,磷共晶、渗碳体不明显,珠光体质量分数高于95%。

垂直于表面磨制样品,测量淬硬层硬度曲线,结果如图11所示,可以看出联结器淬硬层深、淬硬层硬度均合格。联结器表面0~0.25 mm深的表层被高温回火,出现严重硬度下降,与轴颈表面大面积严重磨损相对应。

根据上述结果,联结器金相组织、感应淬火工艺均正常,裂纹起源处离圆角2.5 mm,在淬硬层区,联结器断裂与感应淬火过渡区的内应力变化和圆角无关。联结器油孔只是与裂纹扩展路径交叉,与断裂过程也无关。从断口起源判断,联结器表面强度下

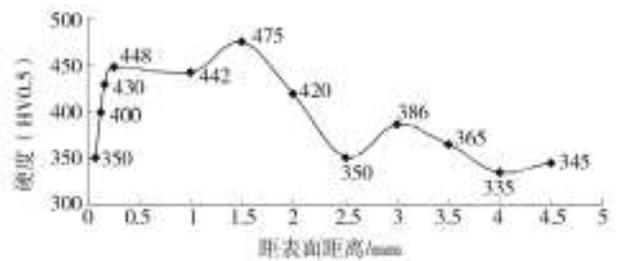


图11 裂纹源处淬硬层深度曲线

Fig. 11 Curve of the case-hardened depth at the crack source

降后,在交变应力作用下产生了疲劳断裂。从存留的可看到的轴颈表面来看,存在大量被磨损的痕迹,表面硬度下降也表明轴颈曾经历过高温摩擦过程。因此,润滑不良等原因造成的军用组合式集装箱的联结器轴颈表面严重磨损,应该是联结器断裂的主要原因。

对军用组合式集装箱联结器因使用中的异常情况引起的失效进行分析,往往需要对其它相关零件进行分析。因此,仔细的现场分析与样品收集至关重要。

2 结语

军用组合式集装箱联结器的失效分析,涉及从材料、加工、结构、受力、使用环境到相关零件分析的多个复杂过程,这些因素相互影响,共同作用,使得分析过程复杂困难。联结器的失效往往会造成其它相关零件的损坏;同时,其它零件的损坏或状态发生变化,也会带来联结器使用工况的改变,并导致联结器的失效。实际分析时,应首先进行详细的调查与现场分析,准确判定故障或事故过程中各个零件的损坏次序与过程,找出肇事零部件,这样才能找出导致故障或事故发生的根本原因。

参考文献:

[1] 田润良,李勤真. 军用集装箱运输[M]. 北京:解放军出版社,2003:128—130.
 [2] 张栋. 机械失效的痕迹分析[M]. 北京:国防工业出版社,1996:57—62.