

RAL · NEU 研究报告 No.0019

点焊冲击性能测试 技术与设备

DIANHAN CHONGJI XINGNENG CESHI JISHU YU SHEBEI

轧制技术及连轧自动化国家重点实验室
(东北大学)



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

RAL · NEU 研究报告 No. 0019

点焊冲击性能测试技术与设备

轧制技术及连轧自动化国家重点实验室
(东北大学)

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2015

内 容 简 介

本书以金属薄板点焊接头冲击性能测试为背景,全面阐述了点焊冲击测试技术的主要内容和相关测试设备的研究现状,详细介绍了东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室研制的点焊冲击试验机的系统构成、主要功能、技术指标和运行效果,最后给出了本试验机应用的实例。

本书可供汽车、材料和材料连接等领域科学研究和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

点焊冲击性能测试技术与设备/轧制技术及连轧自动化国家重点
实验室(东北大学)著. —北京:冶金工业出版社, 2015. 10

(RAL·NEU 研究报告)

ISBN 978-7-5024-7050-0

I. ① 点… II. ① 轧… III. ① 点焊—冲击试验—测试技术
② 点焊—冲击试验—测试设备 IV. ① TG453

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015) 第 222118 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjchs@cnmp.com.cn

策 划 任静波 责任编辑 卢 敏 李培禄 美术编辑 彭子赫

版式设计 孙跃红 责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7050-0

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2015 年 10 月第 1 版, 2015 年 10 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 6 印张; 91 千字; 82 页

37.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

研究项目概述

1. 研究项目背景与立题依据

点焊是汽车构件连接的重要方法,据统计,普通乘用车上电阻焊焊点的数量有 2000 ~ 5000 个。汽车的安全性一方面取决于汽车零部件材料的强度;另一方面还取决于零件之间连接的强度,就电阻点焊的连接工艺而言,即是焊点的强度。由于汽车的碰撞发生在高速行驶过程中,因此点焊的动态强度较静态强度而言,对提高车身的抗碰撞性能更有意义。过去,汽车用钢多为低碳钢,点焊工艺相对较为成熟。随着先进高强钢在汽车制造中的应用,出现了一系列新的问题需要深入研究,如高强钢与高强钢、高强钢与低碳钢的点焊工艺问题,高强钢在点焊热循环过程中焊核及热影响区材料的组织性能演变及其对焊点强度的影响问题,焊点或焊接构件动静态力学性能评价问题等。而高强度钢多用作汽车安全件,这类构件多在汽车承受冲击时发挥作用,同时一些高强度钢构件还承受疲劳载荷的作用,因此其点焊的连接方式必然对其疲劳寿命和冲击时的构件吸能有明显的影响。这一方面需要优化高强度钢的点焊工艺;另一方面也需要用一种新的评价方法、评价参量来评价先进高强度钢点焊后的服役响应特性。

长期以来,点焊质量通常用剪切拉伸、十字拉伸、拉伸剥离等静态拉伸试验方法进行测量。采用冲击法测量焊点的动态强度,近年来国外才有报道,而目前国内不仅没有相应的测试设备,也鲜有相关研究的报道。通过点焊的冲击实验可以获得焊点断裂的模式、承载能力、冲击吸收功和变形等信息,为汽车零部件乃至整个车身的抗碰撞性能评价提供基础数据。可以说,点焊的冲击强度已成为汽车行业评价安全性的重要指标。

我国的汽车工业正在扩大使用高强度钢和超高强度钢,对高强度钢点焊

技术和性能的研究也刚刚起步,缺乏高强度钢材料点焊动态性能的原始的、第一手的数据,也缺少相关的行业标准,这对我国汽车行业轻量化进程、提高汽车的碰撞性能都带来了不利的影响,因此,迫切需要开展相关领域的研究。而开展相关的研究工作,考察各种基材性能、焊接工艺、载荷性质等对点焊的动态力学性能的影响规律,必须要有相应的研究设备。目前,国内还没有专门用于点焊冲击性能试验和评价的设备,因此,开展点焊冲击试验机的研究与开发工作势在必行。

2. 研究进展与成果

(1) 国内外研究进展综述:依据现有公开文献,对点焊冲击测试技术和设备的主要研究内容及国内外进展情况进行了详细综述,讨论了各种冲击载荷模式和试样结构特征、焊点破坏模式、主要参数采集测量技术和计算方法、点焊构件冲击测试方法以及点焊冲击测试的关键技术和问题;详细介绍了国内外点焊冲击测试设备的研发现状,评述了现有设备的特点和不足;最后,讨论了点焊冲击测试领域存在的问题以及未来发展的趋势。

(2) 点焊冲击试验机的研发:本试验机系统主要由试验机本体、摆锤、冲击夹具、辅助装置、数据采集系统、计算机控制系统构成。其中,本体采用商品化的标准摆锤冲击试验机的本体,其摆锤提升、安全插销、摆锤释放、冲击控制等功能可直接利用。为了适应点焊薄板试样的冲击实验,对标准冲击试验机的摆锤和夹具进行了改造。在本体的摆锤转轴上增加编码器,用于测量摆锤的角度,以实现对其控制以及冲击功的计算。

为了提高点焊冲击实验的测试精度和实验效率,本系统开发了一系列辅助装置,具体包括试样安装夹具、试样焊接夹具以及试样钻孔用的钻模。其中,试样安装夹具用于将焊接后的试样装在冲击夹具上,保证试样安装的位置精度;焊接夹具用于两金属片的点焊,保证点焊试样的长度、搭接区域以及焊点位置的一致性及对称性;试样钻孔用钻模则专门用于试样安装孔的制作。点焊试样都是薄板,制作安装孔存在效率低、精度差的问题,影响冲击测试实验,使用钻模可以高效率、高精度地制作安装孔。

数据采集系统由压电式测力传感器、高分辨率的增量编码器、动态应变

仪、高速数据采集卡以及相应的软件开发平台构成。利用测力传感器可以测量冲击过程中的冲击力,通过计算可以得到冲击过程中试样自由端发生的位移,进而得到冲击功。通过冲击力得到的冲击功可以与通过编码器测角度得到的冲击功进行相互对比验证。

计算机控制系统由一台 PC 机、控制板卡、控制电路以及操作盒构成,实现对冲击试验机取摆、退销、冲击、放摆、自动二次取摆、传感器复位等动作的控制。控制系统还包括人机交互界面,可以实现试样信息、焊接工艺信息、实验信息录入,实验结果实时显示和实验数据分析处理、存储等功能。

数据处理系统可以根据测量的冲击力,计算出试样自由端的速度-时间曲线、位移-时间曲线、冲击力-位移曲线、冲击吸收功-时间曲线,给出极限载荷、极限载荷位移、极限载荷吸收功、总位移、总吸收功等参数,并生成实验报表。

(3) 低碳钢和 DP980 钢点焊冲击测试实验:利用所研制的点焊冲击试验机,分别对低碳钢和 DP980 材料的点焊试样开展测试实验,以检验测量结果的准确性,评估试验机设计的合理性,发现问题。结果表明,利用应变片测量的弹性应变计算得到的冲击力与测力传感器测量的冲击力相符合,说明两种方法都准确地测量了冲击力,冲击力的测量结果具有可信性。利用冲击力计算的摆锤最大剩余摆角和总冲击吸收功,与实测的摆锤摆角和利用摆角计算的总吸收功具有可比性,进一步证明所测得的冲击力是准确、可靠的,数据处理的各种算法是正确的。针对低碳钢和 DP980 点焊试样的测试结果,反映了峰值载荷、峰值载荷位移、峰值载荷吸收功、总位移以及总吸收功随点焊电流以及焊点破坏模式变化的规律,冲击力波形复合各种点焊接头破坏发生的过程,静态和冲击测试结果对比表现出应变速率效应,说明本试验机的测试结果是合理的,可以用于点焊接头冲击性能评价。所开发的焊接夹具、试样安装夹具、试样安装孔钻模等辅助装置,有效地保证了测试结果的可靠性,减小了数据的分散性,提高了测试效率,降低了测试成本。

3. 论文与专利

论文:

(1) Hua Fu'an, Ma Mingtu, Li Jianping, Wang Guodong. State of the art of

impact testers for spot welds[J]. Engineering, 2014, 12(5): 59 ~ 66.

(2) 花福安, 李建平, 马鸣图, 冯毅. 点焊冲击性能测试技术研究现状[J]. 汽车工艺与材料, 2015, 2: 1 ~ 8.

(3) 花福安, 王信月, 李建平, 马鸣图, 牛文勇, 宫传慧, 王国栋. 点焊接头冲击试验机的研发与应用[J]. 焊接学报 (已录用).

(4) Feng Yi, Ma Mingtu, Hua Fu'an, Zhang Junping, Song Leifeng, Jin Qingsheng. Study on the resistance spot welding technology of 22MnMoB hot stamping quenched steel[J]. Engineering, 2014, 12(5): 45 ~ 53.

专利:

(1) 花福安, 李建平, 牛文勇, 孙涛, 宫传慧, 王国栋. 一种金属薄板点焊接头冲击性能测试装置, 2015, 中国, 201520212997.7.

4. 项目完成人员

主要完成人员	职 称	单 位
王国栋	教授 (院士)	东北大学 RAL 国家重点实验室
花福安	副教授	东北大学 RAL 国家重点实验室
马鸣图	教授	中国汽车工程研究院股份有限公司
李建平	教授	东北大学 RAL 国家重点实验室
牛文勇	高工	东北大学 RAL 国家重点实验室
孙 涛	讲师	东北大学 RAL 国家重点实验室
宫传慧	工程师	东北大学 RAL 国家重点实验室
王信月	硕士研究生	东北大学 RAL 国家重点实验室
王伟峰	硕士研究生	东北大学 RAL 国家重点实验室
赵 岩	工程师	中国汽车工程研究院股份有限公司
冯 毅	工程师	中国汽车工程研究院股份有限公司
孙智富	教授	重庆新材料工程中心

5. 报告执笔人

花福安、马鸣图、李建平。

6. 致谢

本研究是在东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室王国栋院士的悉心指导下完成的，在此对王国栋院士的指导和帮助表示衷心的感谢！东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室、中国汽车工程研究院股份有限公司对本研究也给予了大力支持，中试课题组的各位老师和学生也为本项目提供了大量的帮助，在此一并表示衷心的感谢！

本研究获得国汽（北京）汽车轻量化技术研究院有限公司的资金资助。

RAL · NEU 研究报告

(截至 2015 年)

- No. 0001 大热输入焊接用钢组织控制技术研究与应用
- No. 0002 850mm 不锈钢两级自动化控制系统研究与应用
- No. 0003 1450mm 酸洗冷连轧机组自动化控制系统研究与应用
- No. 0004 钢中微合金元素析出及组织性能控制
- No. 0005 高品质电工钢的研究与开发
- No. 0006 新一代 TMCP 技术在钢管热处理工艺与设备中的应用研究
- No. 0007 真空制坯复合轧制技术与工艺
- No. 0008 高强度低合金耐磨钢研制开发与工业化应用
- No. 0009 热轧中厚板新一代 TMCP 技术研究与应用
- No. 0010 中厚板连续热处理关键技术研究与应用
- No. 0011 冷轧润滑系统设计理论及混合润滑机理研究
- No. 0012 基于超快冷技术含 Nb 钢组织性能控制及应用
- No. 0013 奥氏体-铁素体相变动力学研究
- No. 0014 高合金材料热加工图及组织演变
- No. 0015 中厚板平面形状控制模型研究与工业实践
- No. 0016 轴承钢超快速冷却技术研究与应用
- No. 0017 高品质电工钢薄带连铸制造理论与工艺技术研究
- No. 0018 热轧双相钢先进生产工艺研究与开发
- No. 0019 点焊冲击性能测试技术与设备
- No. 0020 新一代 TMCP 条件下热轧钢材组织性能调控基本规律及典型应用
- No. 0021 热轧板带钢新一代 TMCP 工艺与装备技术开发及应用

(2016 年待续)

目 录

摘要	1
1 绪论	2
1.1 研究目的及意义	2
1.2 国内外发展现状与趋势	3
1.2.1 单摆式点焊冲击试验机	4
1.2.2 双摆式点焊冲击试验机	5
1.2.3 落锤式点焊冲击试验机	9
1.2.4 其他形式的点焊冲击试验机	12
2 焊点冲击性能测试技术	15
2.1 冲击加载模式和试样结构	15
2.1.1 拉伸-剪切	15
2.1.2 十字拉伸	16
2.1.3 拉伸-剥离	17
2.1.4 U形拉伸	18
2.1.5 U形剪切	18
2.1.6 复合载荷	18
2.2 点焊接头的冲击破坏模式	20
2.3 点焊冲击测试的主要参数及其测量	22
2.3.1 主要参数	22
2.3.2 数据测量技术	24
2.4 点焊构件冲击测试技术	29
2.5 点焊冲击性能测试技术的关键问题	30

2.5.1	试样尺寸	30
2.5.2	试样变形	30
2.5.3	复合载荷加载方法	33
2.6	点焊冲击测试技术领域存在的问题	36
2.6.1	测试标准不健全	36
2.6.2	数据的可靠性和重复性差	36
2.6.3	测试效率低, 成本高	36
2.6.4	点焊构件测试技术的发展缓慢	37
3	点焊冲击试验机的研究与开发	38
3.1	试验机研制的总体方案	38
3.2	试验机主要技术参数	39
3.3	试样尺寸和结构	40
3.4	冲击测试实验过程	41
3.5	摆锤的设计和检验	42
3.6	冲击夹具	44
3.7	辅助装置	45
3.7.1	焊接夹具	46
3.7.2	试样安装夹具	46
3.7.3	试样钻模	47
3.8	数据采集、处理和计算机控制系统	47
3.8.1	测力传感器的标定	49
3.8.2	应变测量及冲击力计算	50
3.8.3	人机界面	52
3.8.4	数据处理与报表生成	53
3.9	冲击吸收功的计算	57
3.9.1	编码器测量角度计算吸收功	57
3.9.2	传感器测力计算吸收功	59
4	点焊冲击试验机的测量效果	60
4.1	测量实验	60

4.2 测试结果	61
4.2.1 点焊接头的破坏模式	63
4.2.2 点焊接头冲击性能与焊接电流的关系	66
4.2.3 冲击力测量结果的可靠性评估	68
4.2.4 点焊接头静态和冲击承载能力	76
5 结论	78
参考文献	79

摘 要

点焊冲击测试是评价点焊接头动态强度的重要方法,焊点的冲击强度是汽车安全性能评价的重要指标。点焊冲击测试技术以及焊点冲击性能评价是汽车制造、电阻点焊和材料研究领域重要的研究内容。本研究综述了点焊冲击性能测试技术和设备的国内外研究状况,分析了该技术领域目前存在的一些问题,研制开发了一台摆锤式点焊拉伸冲击试验机和冲击夹具,以及试样安装夹具、焊接夹具和试样钻模等辅助设备。在试验机的控制和数据采集、处理方面,利用 LabVIEW 图形化软件平台和高速数据采集卡,开发了试验机的逻辑控制软件、人机界面、数据采集系统、数据处理系统和实验报表。上述硬件设备和软件组成了一个完整的测试系统,有效地保证了点焊冲击测试结果的可靠性和可重复性,提高了冲击测试的效率,降低了测试成本,为点焊冲击测试技术的广泛应用奠定了良好的基础。

利用所研制的点焊冲击试验机对低碳钢和 DP980 材料的点焊试样进行了冲击测试实验,得到了不同点焊电流条件下拉伸-剪切冲击的破坏模式、冲击力-时间曲线、峰值载荷、峰值载荷位移、峰值载荷冲击吸收功、总位移、总吸收功等冲击性能评价参数,获得了冲击性能评价参数随点焊电流变化的规律。根据测试数据,详细对比分析了采用不同测量方法所获得的冲击力、摆锤最大剩余摆角以及总冲击吸收功。结果表明,本冲击试验机的设计是合理的,冲击力的测量结果是可靠的,冲击力波形、极限载荷、极限载荷位移、极限载荷吸收功、总吸收功等测量和计算结果能够合理解释点焊接头的破坏行为,基本上反映了冲击性能随点焊电流变化的规律。因此,本试验机可以用于点焊冲击性能测试研究,其测试结果可以用于点焊接头冲击性能的评价。

关键词: 电阻点焊; 拉伸冲击; 动态强度; 冲击试验机; 冲击载荷; 冲击吸收功

1 绪 论

1.1 研究目的及意义

2012 年, 中国汽车产销量超过 1900 万辆, 总保有量已达到 1.2 亿辆。汽车产量和保有量的增多, 带来了严重的能耗和环境问题。汽车轻量化是解决这些问题最直接最有效的方法之一。研究表明, 对乘用车, 每减重 10%, 油耗下降 6% ~ 8%, 其排放也相应下降。但汽车轻量化必须以保证安全为前提, 因此, 各种高强度轻量化材料的应用成为必然。先进高强钢是既能保证轻量化, 又能提升汽车安全性的材料, 具有性价比高、工艺性能好的特点, 发达国家已广泛采用这种材料用于汽车构件的制造。目前在汽车上应用的高强度钢, 其抗拉强度最高已达 1500MPa。我国汽车工业在高强钢的应用方面, 远远落后于发达国家。

点焊是汽车构件连接的重要方法, 据统计, 普通乘用车上电阻焊焊点的数量有 2000 ~ 5000 个^[1]。汽车的安全性一方面取决于汽车零部件材料的强度, 另一方面还取决于零件之间连接的强度, 就电阻点焊的连接工艺而言, 即是焊点的强度。由于汽车的碰撞发生在高速行驶过程中, 因此点焊的动态强度较静态强度而言, 对提高车身的抗碰撞性能更有意义。过去, 汽车用钢多为低碳钢, 点焊工艺相对较为成熟。随着先进高强钢在汽车制造中的应用, 出现了一系列新的问题需要深入研究, 如高强钢与高强钢、高强钢与低碳钢的点焊工艺问题, 高强钢在点焊热循环过程中焊核及热影响区材料的组织性能演变及其对焊点强度的影响问题, 焊点或焊接构件动、静态力学性能评价问题等。而高强度钢多用作汽车安全件, 这类构件多在汽车承受冲击时发挥作用, 同时一些高强度钢构件还承受疲劳载荷的作用, 因此其点焊的连接方式必然对其疲劳寿命和冲

击时的构件吸能有明显的影响。这一方面需要优化高强度钢的点焊工艺,另一方面也需要用一种新的评价方法、评价参量来评价先进高强度钢点焊后的服役响应特性。

长期以来,焊点强度通常用拉伸剪切、十字拉伸、拉伸剥离等静态试验方法进行测量^[1~11]。采用冲击法测量焊点的动态强度,近年来国外才有报道^[12~22],而目前国内不仅没有相应的测试设备,也鲜有相关研究的报道。通过点焊的冲击实验可以获得焊点断裂的模式、承载能力、冲击吸收功和变形位移等信息,为汽车零部件乃至整个车身的抗碰撞性能评价提供基础。可以说,点焊的冲击强度已成为汽车行业评价安全性的重要指标。此外,很多高强度钢构件是承受疲劳载荷的构件,如通过点焊冲击功的测量和焊点疲劳建立起对应关系,通过点焊冲击性能测试预测点焊的疲劳寿命,对于点焊件疲劳性能的评价,将是一个飞跃,由此可以极大地节省焊点疲劳评价的工作量和人力、物力。

我国的汽车工业正在扩大使用高强度钢和超高强度钢,对高强度钢点焊技术和性能的研究也刚刚起步,缺乏高强度钢材料点焊动态性能的原始的、第一手的数据,也缺少相关的行业标准,这对我国汽车行业轻量化进程、提高汽车的碰撞性能都带来了不利的影响,因此,迫切需要开展相关领域的研究。而开展相关的研究工作,考察各种基材性能、焊接工艺、载荷性质等对焊点接头动态力学性能的影响规律,必须要有相应的研究设备。目前,国内还没有专门用于点焊冲击性能试验和评价的设备,因此,开展点焊冲击试验机的研究与开发工作十分必要。

为了研究先进高强钢的点焊工艺,研究点焊工艺对点焊断裂模式、承载能力和吸能性能的影响机理,研究焊点及焊接构件冲击性能评价方法,形成完整的先进高强钢点焊工艺和点焊动态力学性能评价体系,本项目研制了一台点焊冲击试验机,为上述研究工作提供实验手段。

1.2 国内外发展现状与趋势

在先进高强钢材料、焊接工艺和力学性能方面,国内外开展了大量的研究工作。其中,美国的汽车/钢铁联盟 (Auto/Steel Partnership, A/S P)

实施了汽车轻量化材料和先进高强钢连接技术等研究计划,这些计划的主要目的是为汽车/钢铁联盟的汽车轻量化项目提供轻量化材料以及先进高强钢的焊接和连接技术,加强先进高强钢焊接的基础性研究工作,建立高强钢焊接质量检验标准以及焊接性能评价标准等。该计划进行了广泛的国际合作,先后开展了先进高强钢点焊、激光焊和气体保护焊工艺技术研究、先进高强钢电阻焊性能研究、温度对先进高强钢焊接冲击性能影响的研究、先进高强钢点焊冲击性能测试和建模等研究工作,取得了一系列重要的研究成果^[23~26]。在先进高强钢点焊力学性能、焊点断裂模式、微观组织演变、热影响区软化行为以及点焊力学性能建模等方面,伊朗伊斯兰阿萨德大学^[5~9]、法国里昂大学^[4]、中国上海交通大学^[27,28]、加拿大滑铁卢大学^[29,30]等学校的学者也开展了大量研究工作。总体来说,上述工作对点焊性能的研究,主要采用准静态测试手段,而采用动态性能测试研究的相对较少。

在点焊冲击性能测试研究方面,目前采用的主要方法是拉伸-剪切 (Tension-Shear)、十字拉伸 (Cross Tension) 和拉伸剥离 (Tension Peel) 冲击试验,也有一些研究工作采用复合冲击载荷 (Combined Load Impact)。不论采用何种冲击试验方法,所用测试设备均为非标设计,或是对标准冲击试验机进行改造,以适应点焊试样的冲击。由于测试设备对点焊冲击性能测试结果具有决定性的影响,国外在这方面开展了广泛的研究,开发出多种不同类型的试验机,下面对这些设备做一详细综述。

1.2.1 单摆式点焊冲击试验机

最早的点焊冲击性能测试是利用经过改造的标准单摆冲击试验机完成的。其原理是将试样的一端夹持在摆锤上,另一端与一个撞块连接,试验过程中,试样和撞块随摆锤一起落下,直到撞块与调整好的砧铁碰撞,形成对试样的冲击。试样断裂后,摆锤继续摆动到一定的高度。利用摆锤的初始仰角和冲击后的最大摆角,可以计算出冲击功。上述试验方法由于试样、撞块与摆锤一起运动,有以下几个缺点^[31]:(1) 试样夹持安

装不便,难以保证试样与夹具不打滑;(2)冲击力和位移等参数测量困难;(3)只能通过摆锤冲击前后的摆角计算总冲击吸收功,不能得到极限载荷吸收功;(4)摆锤夹具形式固定,难以通过更换摆锤质量改变初始能量。上述问题的存在,使得测试结果的重复性差,数据分散度过大,在实际应用中受到限制。

Bayraktar 和 Kaplan 等人^[12~14]对上述测试设备进行了改进,他们将试样和碰撞块固定在机座上,如图 1-1 所示。当双壁摆锤下落与撞块碰撞时,产生冲击力,使试样断裂,完成冲击加载。上述设备的特点是将试样和夹具先进行预安装,然后再一起安装到试验机的底座上,通过更换夹具可以适应薄板试样和圆柱试样。并且试样预安装方式还便于进行低温冲击实验。试验机在摆锤上安装了应变式测力传感器,可以测量冲击力,进而可以计算出冲击力-位移曲线以及冲击吸收功。试验机的冲击能量从最初的 450J,发展到 750~800J。该试验机已在均匀材料、点焊试样和激光焊接试样的拉伸冲击研究中获得了应用,其不足之处是试样尺寸较小,尤其是点焊试样的宽度,最大只有 20mm。

1.2.2 双摆式点焊冲击试验机

由 H. Zhang 等人首先在美国密歇根大学研制,后又在 Toledo 大学进行改进的双摆式点焊冲击试验机^[19,25,26]如图 1-2 所示,其冲击测试原理见图 1-3。该试验机有两个摆锤 A 和 B,其中 A 为主动摆锤,提供冲击能量;B 为被动摆锤,用于测量断裂后试样及被动摆锤的能量。试验机采用“Z”型搭接试样,尺寸为 200mm 长、125mm 宽、折边 50mm、折弯角度 60°,测试时试样的一端与被动摆锤连接,另一端与固定夹具连接。测试后可根据主动摆锤的初始仰角和主动摆锤及被动摆锤冲击后的最大摆角按式(1-1)计算总冲击吸收功。试验机采用 4 个 111.5kN 的应变式传感器测量冲击力,通过光纤位移传感器测量冲击过程中的位移,最大量程 17mm,冲击速度为 2.23~6.7m/s,冲击能量在 364~2122J 范围内。该试验机也可以进行高低温冲击实验。