

## DZ-47 触头电阻焊

朱世良<sup>1</sup>, 夏裕俊<sup>1</sup>, 张忠典<sup>1</sup>, 田修波<sup>1</sup>, 齐嵩宇<sup>2</sup>

(1. 哈尔滨工业大学 先进焊接与连接国家重点实验室, 哈尔滨 150001;  
2. 一汽轿车股份有限公司技术部, 长春 130012)

**摘 要:** 触头是低压电器的执行元件, 其焊接质量直接决定了整个电器的运行可靠性和使用寿命. 使用电阻焊的方法对 DZ-47 电触头进行焊接, 分析了焊接电流、焊接时间及电极力对触头剪切力的影响规律, 并对焊接界面的组织形态及元素分布进行了研究. 结果表明, 在合理的工艺条件下, 电阻焊焊接触头是可行的. 此外, 由于焊接过程中电磁力和电气触头结构设计因素, 即使在相同工艺参数下焊接的触头不同方向的界面扩散层厚度和元素扩散量都不相同.

**关键词:** 电触头; 电阻焊; 组织形态; 元素分布

**中图分类号:** TG 454 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2014)12-0067-05

## 0 序 言

触头一般由触桥和触点焊接而成, 承担着接通、分断和隔离电流的任务, 其焊接性能直接决定整个电器的通断容量、使用寿命及运行的可靠性<sup>[1]</sup>.

低压电器对触头的要求是: 抗静、动熔焊, 触头温升低, 大量操作次数后触头之间接触电阻和负载能力变化小等. 其中温升和接触电阻是需要考虑的两个最基本性能指标<sup>[2-4]</sup>. 焊接质量差的触头温升比较高, 接触电阻比较大, 无法承担较大的电流和频繁的通断电, 工作过程中易出现触点和触桥分离的现象, 所以如何保证触头焊接质量的稳定性已经成为提高国内低压电器产品质量的关键<sup>[5]</sup>.

目前国内低压电器小规格触头大多采用电阻钎焊的方式进行焊接, 主要存在两个问题: (1) 由于焊接时间较短, 界面上易出现液态钎料铺展不均匀甚至未熔化的现象. (2) 焊接时使用的钎料(如 AgCuZn, AgCuP 等系列) 电阻高、热导率低, 而且易生成低熔点共晶组织, 触头在工作过程中当温度达到钎焊界面局部区域熔点时, 触点和触桥分离, 整个触头失效. 文中采用直接电阻焊的方法对 DZ-47 触头进行焊接, 不仅可以降低成本, 而且这种固相焊接方法的焊接界面与钎焊界面相比缺陷率低、电阻率低、导热率高、熔点高, 触点不易脱落, 进而大大的提高了产品的寿命. 此外, 文中还对触头电阻焊界面的元素分布和工艺参数之间的关系进行了分析研究.

## 1 试验方法

焊接设备是 55kVA 中频逆变电阻焊机, 上电极材料 CrZrCu, 与 AgCdO15 触点接触, 下电极材料是 CrZrCu 镶 CuW70, 与 T3 铜触桥接触.

试验采用的触点材料为 AgCdO15, 触点成分和性能见表 1 所示. AgCdO15 触点下敷有 0.1 mm 的纯银层, 触点尺寸长、宽各 4 mm, 厚度是 0.8 mm, 金相照片见图 1. 焊接之前触点要在 10% ~ 20% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

表 1 AgCdO15 触点的化学成分及性能

Table 1 Chemical compositions and property of AgCdO15 contact

产品名称	化学成分(质量分数, %)			物理力学性能	
	Ag	CdO	杂质总和	硬度 H( HB)	电阻率 $\rho/(\mu\Omega\cdot\text{cm})$
AgCdO15	余量	15 ± 0.8	≤ 0.3	95 ~ 130	3.3

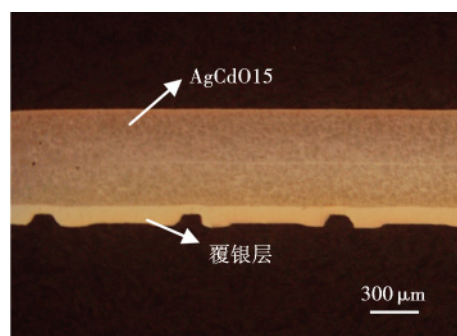


图 1 触点金相照片

Fig. 1 Metallograph of contact

冷水溶液中浸洗 10 ~ 20 min , 然后进行超声净化处理. 触桥材料为 T3 铜 , 厚度为 1.2 mm , 与触点接触的焊接面宽为 5 mm , 长为 6 mm.

## 2 工艺参数对剪切力的影响

### 2.1 焊接电流对剪切力的影响

当电极力为 1.64 kN , 焊接时间为 120 ms 时 , 焊接电流对剪切力的影响趋势见图 2 所示. 随着焊接电流增加 , 剪切力逐渐增加 , 当焊接电流为 12.6 kA 时 , 剪切力达到最大值 , 随着焊接电流的继续增加 , 剪切力开始下降.

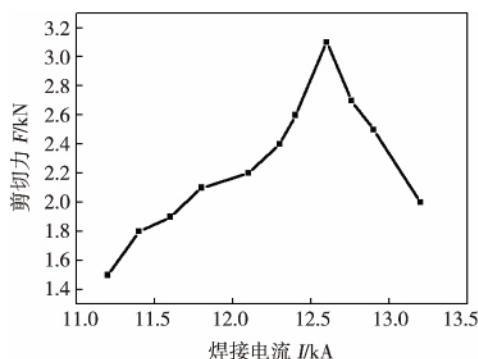


图 2 焊接电流对剪切力变化趋势的影响

Fig. 2 Relationship of welding current and shearing force

根据  $Q = I^2 R t$  , 电阻热  $Q$  与  $I^2$  成正比. 当焊接电流小于 11.8 kA 时 , 焊接区域产热不足 , 敷银层不能完全熔化 , 在触点和触桥之间容易出现小的未融合间隙 , 应力会集中在间隙区域前端 , 裂纹在此处扩展 , 剪切力值偏低. 随着电流的增大 , 焊接区域产热增多 , 敷银层得到充分的熔化 , 间隙区减少 , 剪切力增大. 当焊接电流超过 12.8 kA 时 , 触头表面严重烧损 , 在触点和触桥接触的端部大量覆银层被挤出 , 整个焊接界面的覆银层厚度不均匀 , 中心区域薄 , 边缘厚 , 剪切力下降. 当继续增加电流至 13 kA 时 , 焊缝中心覆银层厚度更薄 , 焊接过程结束后触点有可能会粘在主电极上 , 导致触头报废.

### 2.2 焊接时间对剪切力的影响

当焊接电流为 12.4 kA , 电极力为 1.64 kN 时 , 焊接时间对剪切力的影响如图 3 所示. 随着焊接时间的增加 , 剪切力逐渐增加 , 当焊接时间大于 120 ms 时 , 剪切力增加幅度变缓. 从理论上分析 , 根据热量公式  $Q = I^2 R t$  , 焊接时间和焊接电流在焊接过程中起到的作用相似 , 但是试验中并没有测到剪切力开始下降的拐点. 分析原因是当焊接时间达到 140 ms 以上时 , 触点表面严重烧损并粘附于上电极 , 这种现象对

电极的伤害很大 , 每次将触点从电极上撬下后 , 为了保证后续触头的焊接质量 , 都要重新对电极头进行修整 , 工作效率和电极寿命都大大降低 , 而且触点外观质量不合格.

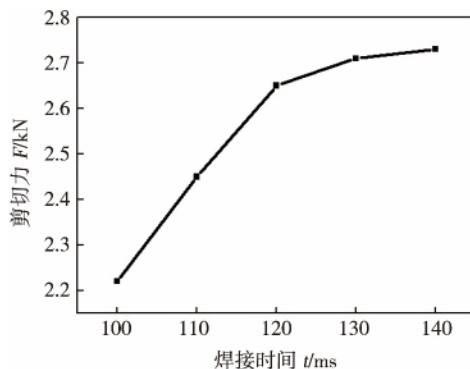


图 3 焊接时间对剪切力变化趋势的影响

Fig. 3 Relationship of welding time and shearing force

### 2.3 电极力对剪切力的影响

当焊接时间为 120 ms , 焊接电流为 12 kA 时 , 剪切力随电极力变化的趋势如图 4 所示. 最初阶段随着电极力的增加 , 剪切力逐渐降低 , 并且下降速度逐渐变缓 , 渐渐趋于稳定. 但当电极力增大到 1.8 ~ 1.9 kN 时 , 剪切力迅速降低.

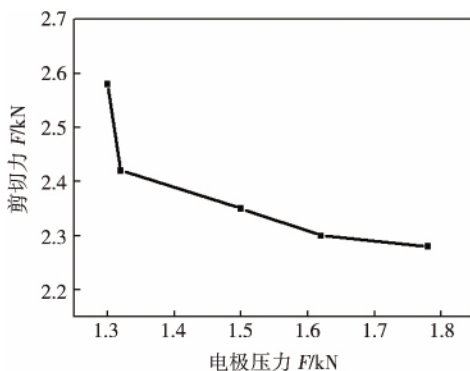


图 4 电极力对剪切力变化趋势的影响

Fig. 4 Relationship of welding current and shearing force

电极力在焊接过程中的作用主要在散热和消除接触电阻两个方面. 在焊接电流和焊接时间不变的条件 , 随着电极力的增加 , 通过电极散失的热量就越多 , 有效焊接热量减少 , 剪切力降低.

## 3 电阻焊界面元素扩散行为分析

### 3.1 界面元素扩散分析

触点和触桥电阻焊接其实是在热和压力共同

作用下使敷银层充分熔化,两母材金属元素充分扩散使两材质达到原子间的结合而形成永久性连接的过程。

AgCdO15 触点覆银层的焊接面含有大量微小沟槽,在挤压过程中易于界面产生切向位移,发生粘塑性变形。在通过大电流的情况下,界面原子的能量达到激活状态,形成激活中心,界面处的原子形成金属键,相互接触两金属表面形成原子之间的结合,Cu、Ag 原子进入互扩散阶段,由于银铜材料物理性能不同,导致其扩散系数和速率也不相同。

图 5 为在焊接时间 120 ms、焊接电流 12.4 kA,电极力 1.6 kN 的工艺条件下焊接界面组织形貌,选定区域各元素的含量如表格 2 所示。界面上 Cu、Ag 元素发生了互扩散,并且铜原子向银侧扩散比 Ag 原子向铜侧扩散明显,铜银连接界面的银一侧生成了连续的絮状银铜固溶体,无脆性的共晶组织存在。

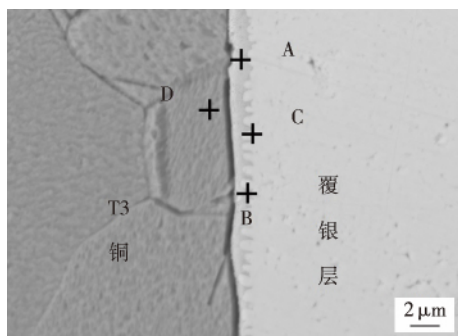


图 5 扩散层组织形态

Fig. 5 Microstructure of diffusion layer

表 2 扩散层各点元素含量(原子分数,%)

Table 2 Elements content of the diffusion layer

区域	Ag	Cu	区域	Ag	Cu
A	70.95	29.05	C	88.51	11.49
B	86.12	13.88	D	02.00	98.00

根据图 6 的线扫描可观察到整个焊接界面上 Ag、Cu 元素连续分布的规律。Ag 元素含量在靠近 T3-扩散层界面时开始逐渐增加,距离该界面越远 Ag 元素含量越高,当远离扩散层-覆银层界面时 Ag 元素含量趋于稳定,Cu 元素的分布规律与 Ag 元素相反。

### 3.2 工艺参数对元素扩散距离的影响

不同的工艺参数决定了焊接过程中的产热量、散热量和有效焊接热量。文中选取 4 组不同工艺参数焊接的试样,观察其界面扩散层厚度和扩散状态,进而分析不同工艺参数对扩散层厚度及元素扩散量的影响,如图 7 所示(黑色区域为 T3 铜,灰白色区域是敷银层)。

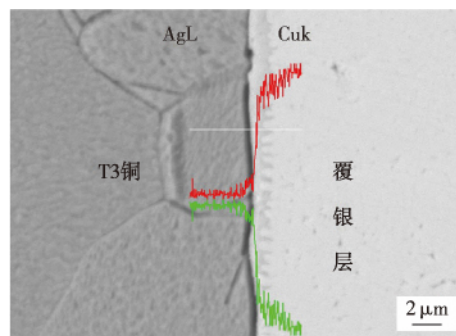


图 6 扩散层界面元素的分布

Fig. 6 Elements distribution of diffusion layer

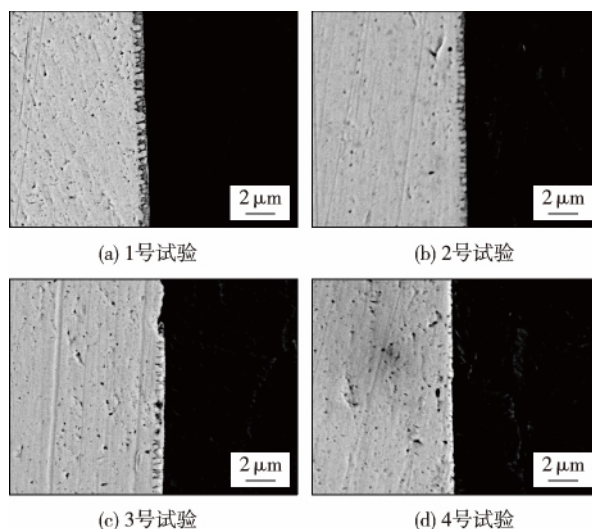


图 7 不同工艺对应的焊接界面扩散情况

Fig. 7 Elements diffusion of weld interface at different processing parameters

这 4 组工艺参数对应的具体规范值及扩散层厚度及扩散量整理于表 3 中。对比 1 号和 2 号焊接试样发现两试样扩散层中 Cu 元素的扩散量都很多,但是 1 号试样扩散层宽度明显大于 2 号试样,这是因为 2 号试样的焊接时间短,焊接界面扩散层的厚度窄;对比 1 号试样和 3 号试样,由于焊接时间相同 Ag/Cu 界面的扩散层厚度即 Cu 元素大量扩散距离基本相同,但是由于电流减小 400 A,3 号试样的 Cu 元素扩散量明显少于 1 号试样;对比 3 号和 4 号试样,由于电极力的增加,通过电极的散热量增加,有效焊接热量减少,观察到 4 号试样的扩散层基本上已经看不到,只在个别区域可以看到存在少量的铜向银一侧的扩散,力学性能明显降低。

### 3.3 界面元素扩散的各向异性

如图 8 触头焊接后的外观,右侧挤出的覆银层通常较左侧的要多,并且不同工艺下焊接的触头都有类似情况发生,说明相同工艺参数下焊接的触头



表 3 不同焊接工艺参数对应界面扩散层厚度及相对扩散量  
Table 3 Diffusion layer thickness and elements diffusion amounts at different processing parameters

试样 编号	焊接时间 $t/\text{ms}$	焊接电流 $I/\text{kA}$	电极力 $F/\text{kN}$	扩散层厚度 $h/\mu\text{m}$	相对扩散量
1	120	12.4	1.45	$<1.5$	多
2	110	12.4	1.45	$<1$	较多
3	120	12	1.45	$<1.5$	较少
4	120	12	1.75	无	极少

不同方向的界面扩散层厚度和元素扩散量都不相同。文中研究了相同工艺下的触头相互垂直的中心线横切和纵切后的界面组织状态,切割方向如图 8 所示,界面元素扩散情况见图 9 所示。通过图 9 可以观察到,触头横切界面的扩散层厚度和元素扩散量明显大于纵切界面的扩散层厚度和元素扩散量。



图 8 触头两种不同线切割方向

Fig. 8 Contactor two different direction of linear cutting

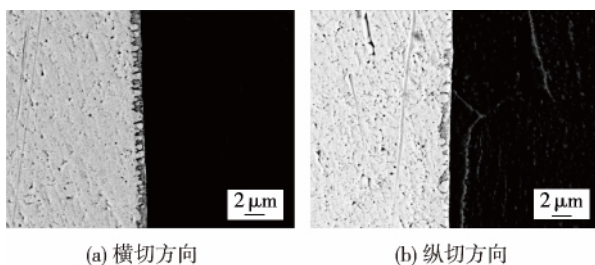


图 9 规范焊接触头不同方向的界面扩散情况

Fig. 9 Elements diffusion layer of contactor weld interface on two different directions

触头右侧材料挤出量大于左侧的原因如图 10 所示,该图是电阻焊焊接时的二次回路示意图。假设二次回路电流方向向上,在电极一侧的电流方向与其始终相异,产生电磁斥力,根据电磁斥力公式  $F = BIL$  可知,电流越大电磁斥力越大,右侧材料的挤

出量越多。

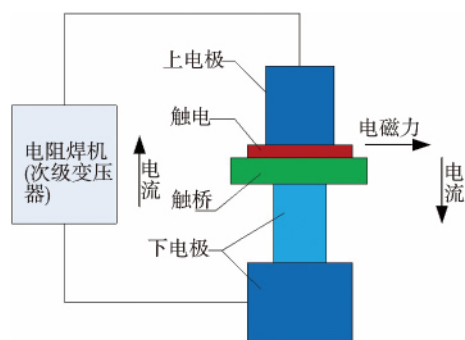


图 10 电阻焊的二次回路

Fig. 10 Secondary circuit of resistance welding

此外,图 9 中的情况也说明在整个焊接过程横切界面方向的焊接热量要大于纵切界面焊接热量。原因有两点:首先图 8 中触头纵切方向的金属材质尺寸要大于横切方向的尺寸,大尺寸的金属散热导致纵切方向的有效焊接热量比横切方向低;其次是横切方向银层被挤出量多,所以横切方向的覆银层厚度变薄后,电阻率升高,电阻产热量升高。所以横切界面的有效焊接热量比纵切界面的有效焊接热量高,横切界面的扩散层厚度及元素扩散量大于纵切界面,形成了各向异性的焊接界面形态。

## 4 结 论

(1) 随焊接电流的增加,焊接触头剪切力先增加后减小,当焊接电流为 12.6 kA 时剪切力达到最大值;随着焊接时间的增加,剪切力不断增加,未测到下降区间;随电极力的增加,剪切力不断下降。

(2) 电阻焊焊接触头的界面存在很薄的银铜固溶体层,并无脆性相生成。

(3) 电工触头横切界面的扩散层厚度及元素扩散量大于纵切界面,焊接界面是各向异性的。

## 参考文献:

- [1] 马荣骏. 银基电接触材料研究与应用的进展[J]. 稀有金属与硬质合金, 2008, 36(4): 28-36.  
Ma Rongjun. Progress in the research and application of silver-based electrical contact material[J]. Rare Metals and Cemented Carbides, 2008, 36(4): 28-36.
- [2] 钱宝光, 耿浩然, 郭忠全, 等. 电触头材料的研究进展与应用[J]. 机械工程材料, 2004, 28(3): 7-9.  
Qian Baoguang, Geng Haoran, Guo Zhongquan, et al. Development and application of electrical contact materials[J]. Materials

- for Mechanical Engineering, 2004, 28(3): 7-9.
- [3] Xu Canhui, Yi Danqing, Wu Chunping. Microstructures and properties of silver-based contact material fabricated by hot extrusion of internal oxidized Ag-Sn-Sb alloy powders [J]. Materials Science and Engineering, 2012, 538: 202-209.
- [4] Cosovic V, Talijan N, Zivkovic D. Comparison of properties of silver-metal oxide electrical contact materials [J]. Journal of Mining and Metallurgy, 2012, 48(1): 131-141.
- [5] 陈 仲, 廖宏彬, 张明江, 等. 欧洲电触头产业发展状况 [J]. 电工材料, 2002(3): 37-43.
- Chen Zhong, Liao Hongbin, Zhang Mingjiang, et al. The development situation of electrical contact industry in Europe [J]. Electrical Engineering Materials, 2002(3): 37-43.

作者简介: 朱世良, 男, 1985 年出生, 硕士研究生. 主要从事低压电器触头焊接设备和工艺的研究. Email: ly920827@163.com

## 书 讯

◇焊接材料、设备、结构的资料全面 ◇查阅方便、技术先进、关注环保



书号: 978-7-111-45436-6  
定价: 218.00元

## 《新编焊接数据资料手册》

史耀武 主编

本书是一部焊接工具书, 以丰富的焊接数据、资料图表, 反映了近十余年焊接技术的新进展。本书注重反映我国高端装备制造业和重大工程的需求, 特别涉及汽车、建筑钢结构等支柱产业以及能源工程、轨道交通、船舶与海洋工程、长输管线、航空航天及军工装备制造业对焊接技术的需求。书中对传统焊接技术仍保留足够篇幅, 同时收集了高效电弧焊、高能束焊、搅拌摩擦焊等先进焊接技术的资料、数据。为反映以低碳、洁净、细晶、强韧度为特征的新钢种推广应用, 还收集了诸如高强韧钢、耐候钢、耐热钢、特种钢、新型不锈钢以及铝、镁、钛轻金属合金的焊接性及在高端绿色焊材领域的新资料。由于近年来大量新材料和新结构的采用, 焊接装备机械化、自动化和信息化进展明显。俗称“钢铁裁缝”的焊接离不开切割技术, 等离子弧切割、火焰数控切割已广泛应用, 激光切割备受关注。同时, 焊接结构制造也面临能耗高、材料利用率低和资源与环境的压力, 因此本书还反映了近年来优质高效、节能环保焊接新技术及新材料的进步。

编辑热线: 010-88379733 购书热线: 010-88379425 传真: 010-68351729 网络购书支持: 中国科技金书网  
传真购书请注明: 姓名、详细地址、邮编、联系电话、传真、E-mail、所购图书书名、书号、数量、是否需要发票及发票抬头

**Abstract:** The software SYSWELD was used to simulate how the internal pressure and the welding repair time affect the radial direction deformation of pipeline for the in-service welding. The results of simulation was verified by the experiment. When the in-service welding was carried out in the pipeline with an internal pressure range of 0-4 MPa , the radial direction deformation increased with the increase of the pressure. When the internal pressure was in the range of 4-6 MPa , the deformation decreased with the increase of pressure. The deformation at the internal pressure of 6MPa was almost equally as that at that one at normal pressure. When the repair welding process progressed , the amount of deformation was gradually increased. In order to predict the occurrence of burned hole , the utilization of instantaneous radial deformation is better than using the radial deformation of the internal point.

**Key words:** in-service welding; gas pipeline; radial deformation; numerical simulation

**Comparison of Ar-He and Ar-He-N<sub>2</sub> gas shielding metal arc welding technology for aluminum alloy** LU Hao<sup>1</sup> , XING Liwei<sup>1</sup> , LIANG Zhimin<sup>2</sup> ( 1. CSR Qingdao Sifang CO. ,LTD. , Technique headquarters , Qingdao , 266111 , China; 2. Faculty of Material Science and Engineering , Hebei University of Science & Technology , Shijiazhuang 050000 , China) . pp 59 – 62

**Abstract:** In order to recognize the importance of the addition of trace nitrogen in the triple gas mixture , the difference of the aluminum welding was studied in terms the arc shape , macro and micro-welded joint structure , the width of heat affected zone , by using pure argon , binary Ar-He mixture , triple Ar-He-N<sub>2</sub>. In comparison to the MIG welding using pure argon and Ar-He , the arc was more concentrated that allow a production of best quality of joint with highest impact toughness and narrow HAZ. The performance of the welding joint using pure argon was the next-best. The work shows that adding trace nitrogen is a very important factor for the improvement of welding quality using Ar-He-N<sub>2</sub> triple gas shielding.

**Key words:** Ar-He; Ar-He-N<sub>2</sub> gas; aluminum

**3D numerical simulation on explosive welding of Al/Ti composite tube** DENG Wei<sup>1,2</sup> , LU Ming<sup>2</sup> , TIAN Xiaojie<sup>3</sup> ( 1. 63981 Unite of PLA , Wuhan 430311 , China; 2. College of Field Engineering , PLA Univ. of Sci. & Tech. , Nanjing 210007 , China; 3. College of Engineering , China University of Ocean , Qindao 266100 , China) . pp 63 – 66

**Abstract:** The different explosive welding process of composite tube welding induces a different progress in welding process compared to the composite plate welding. The relatively confined space of the composite tube lead to difficulties in the observation of the welding process. This paper simulate the explosive welding process of composite tube through software AUTODYN. On the basis of the verification of the model , the formation of the jet and the unique structure of waveform interface were analyzed. The jet induced wavy bonding satisfies the penetrating mechanism hypothesis. The simulation results are in good agreement with the experimental results , which provide important information for the further study on the wave structure and jet for-

mation mechanism of explosive welding.

**Key words:** explosive welding; jet; composite tube; interfacial wave

**Research on resistance welding of DZ-47 electrical contact**

ZHU Shiliang<sup>1</sup> , ZHANG Zhongdian<sup>1</sup> , TIAN Xiubo<sup>1</sup> , WU Laijun<sup>1</sup> , QI Songyu<sup>2</sup> ( 1. State Key Lab of Advanced Welding and Joining , Harbin Institute of Technology , Harbin 150001 , China; 2. Technical Department of FAW Car Co. , Ltd. , Changchun 130012 , China) . pp 67 – 71

**Abstract:** Electrical contact is the execution unit of low-voltage electrical equipment. The welding quality directly determines the service life and reliability of entire electrical equipment. In this paper , resistance welding was used in the welding of DZ-47 electrical contact. The influence of welding current , welding time and electrode pressure on the shear stress of the contact was analyzed. The welding interface morphology and elemental distribution were also studied. The results show that resistance welding is feasible for electrical contact welding under the appropriate processing parameters. It is additionally found that in the case of same process parameters the interface diffusion layer thickness and the amount of diffusion of elements are not the same due to the electromagnetic force and the unreasonable design of electrical contact.

**Key words:** electrical contact; resistance welding; morphology; element distribution

**Analysis of quality characteristics information of aluminum resistance spot welding joint** FENG Linjiang<sup>1,2</sup> , JI Chuntao<sup>3</sup> , YI Runhua<sup>3</sup> , WANG Hua<sup>1,2</sup> , CHEN Jie<sup>1,2</sup> , ZHANG Zuli<sup>1,2</sup> , LUO Song<sup>1,2</sup> ( 1. National Engineering Research Center for Instrument Functional Materials , Chongqing 400707 , China; 2. Chongqing Materials Research Institute , Chongqing 400707 , China; 3. Nanchang Hangkong University , Nanchang 330063 , China) . pp 72 – 76

**Abstract:** In order to study the quality of resistance spot welding joint , three groups of dynamic data were analyzed and drew to curve during the resistance spot welding of aluminum alloy 2A12 , namely , the electrode force , the electrode displacement and welding current. The results show that the change tendency of the electrode force was depressing slightly at the beginning of the welding , then a small increase with slight fluctuations , and finally a downward-sloping trend. Unqualified weld was formed when the force is under or over the normal stress at each stage. The rising rate of the displacement curve is related to the welding current and the energy efficiency. The shape of the displacement curve between the maximum displacement and the loading forging force is related to the amount of melting metal and the size of the softening zone.

**Key words:** quality of spot welding; electrode displacement; electrode force; welding current

**In-situ synthesis of TiN coating prepared by laser cladding**

ZHAO Jian<sup>1</sup> , HE Wenxiong<sup>2</sup> , LÜ Zhijun<sup>3</sup> , ZHAO Hongyun<sup>2</sup> ( 1. State Key Laboratory of Advanced Welding and Joining , Harbin Institute of Technology , harbin 150001 , China;