

三熔化极 MIG 焊的燃弧形式及共有导电通道的建立

向 婷¹, 李 桓¹, 韦辉亮¹, 高 莹², 娄丽艳²

(1. 天津大学 天津市现代连接技术重点实验室, 天津 300072;

2. 天津职业技术师范大学 天津市高速切削与精密加工重点实验室 天津 300222)

摘 要: 试验中搭建了单电源三熔化极 MIG 焊系统, 利用电信号采集系统检测焊接电流和电弧电压, 借助高速摄像系统同步拍摄电弧形态及熔滴过渡过程。通过改变不同的预设电压值, 观察到了三种基本的燃弧形式, 以此分析三电弧共有导电通道的建立。结果表明, 三种基本的燃弧形式依次为单丝燃弧、双丝燃弧及三丝燃弧。共有导电通道的建立分三个阶段, 首先三个电极与母材之间形成各自的导电通道, 其次三个导电通道在电磁引力的作用下彼此倾斜, 打破各自原有导电通道建立共同的导电通道, 最后新的导电通道调整至稳定状态。共有导电通道的建立更有利于电弧稳定燃烧。

关键词: 三熔化极 MIG 焊; 燃弧形式; 预设电压; 导电通道

中图分类号: TG 403 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2016)07-0044-05

0 序 言

三丝焊作为一种高效率的焊接方法越来越被人们所关注。国内外对于多丝焊的研究都是从双丝埋弧焊开始^[1,2]。文献[3]通过研究各个焊接参数对熔化速率的影响, 模拟了三熔化极气体保护焊熔化速率的数学模型。文献[4]在传统双丝焊接工艺的基础上, 研究出双明弧加单预热填丝的三丝焊接工艺, 填充热丝在两弧中间, 引导电弧与跟随电弧设计成一直线, 可以做相对偏移微调。文献[5]提出了三丝熔化极气体保护高速 MAG 焊, 研究不同焊丝极性匹配对焊缝成形的影响。文献[6]分析了三丝熔化极气体保护焊中电弧的受力情况, 并以此解释了焊接过程中电弧的中断现象。文献[7]开发了一种三熔化极气体保护焊接系统, 采用电流相位控制进行脉冲焊接, 电弧在三根焊丝上轮流燃烧, 在保证电弧挺度的同时, 通过调节各焊丝之间的位置关系及焊枪与工件之间的夹角来改变能量分布。

综上所述, 目前国内外对于三熔化极气体保护焊的研究各自有其创新性, 但焊接工艺尚不完善, 焊接过程中存在的问题还有待解决, 理论性的研究较少, 关于焊接过程中的电弧形态、熔滴过渡等电弧物理现象的研究更是鲜有报道。

1 试验方法

1.1 试验材料

试验采用的焊丝为 H08Mn2SiA, 直径为 1.2 mm。焊接试样材料为低碳钢 Q235, 其尺寸为 300 mm × 150 mm × 10 mm。

采用 99.99% 的氩气作为保护气体, 气体流量为 20 L/min。三根焊丝采用相同的送丝速度, 预设值为 2.5 m/min。焊接速度为 0.18 m/min, 预设电压为 26 ~ 30 V, 焊丝伸出长度为 26 mm。试验采用堆焊的形式, 接线方式为直流反接。

1.2 试验设备

图 1 为三丝熔化极气体保护焊的示意图, 三根焊丝由同一把焊枪引出, 且以等边三角形的形式排

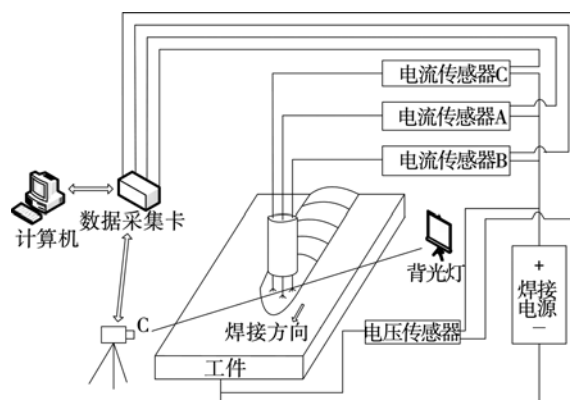


图 1 三熔化极气体保护焊接系统示意图

Fig. 1 Schematic of triple-electrode MIG welding system

收稿日期: 2014-09-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51475325); 天津市应用基础与前沿技术研究计划项目(14JCYBJC19100)

列,焊枪轴线穿过由三个导电嘴端部形成的三角形的中心点,焊丝距中心点的径向距离为12.5 mm. 每根焊丝各接一套独立的送丝机构,分别经各自绝缘的导电嘴送出,其送丝速度可分别调节以满足焊接要求. 焊枪接一套焊接电源、水冷装置、保护气及三套送丝机构,构成整体电弧—电源系统.

实际焊接时,焊丝由三台送丝机分别送进焊枪中的独立导电嘴,三根焊丝并列联接由同一焊接电源(林肯 INVERTEC V350 PRO)供电,为了监测焊接过程中电弧物理现象,在焊接过程中使用高速摄像及电信号采集系统进行同步监测(图2). 其中高速摄像的拍摄频率为1 000 帧/s,信号采集系统由三个电流传感器、一个电压传感器、数据采集卡以及计算机构成,采集卡上各个通道的采样频率为100 kHz.

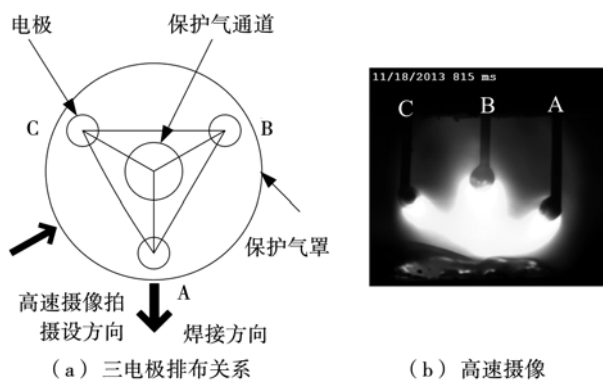


图2 三电极排布与高速摄像机的位置关系

Fig. 2 Positional relationship of the triple-electrode arrangement and high speed photography

2 试验结果与分析

2.1 三种基本燃弧形式

实际焊接时,在送丝速度为2.5 m/min下,依次改变预设电压值为26,28,30 V,观察不同预设电压下的燃弧情况. 三根焊丝的燃弧情况大体可分为三种形式. 第一种为单丝燃弧,对应的预设电压为26 V,其电信号及高速摄像图片如图3所示.

单丝燃弧形式下,仅有一根焊丝燃弧,2 650, 2 750, 2 825, 2 925 ms时刻的高速摄像图片依次对应着电弧仅在焊丝A、焊丝C、焊丝A、焊丝B上燃烧,此时电弧较短,熔滴过渡形式为短路过渡,电信号下方的高速摄像图片为电弧转移的瞬间,起初 $t = 2\ 650\text{ ms}$ 时,仅焊丝A燃弧,随着焊丝B、C的不断送进,在 $t = 2\ 652\text{ ms}$ 时,焊丝B末端的熔滴接触熔池,与此同时,焊丝A熄弧,电弧电压急剧下降接近于0 V,而B焊丝上的短路电流骤然增加,在焊丝B

和熔池间形成液体金属柱,在电磁收缩力和表面张力的共同作用下,液柱金属形成缩颈,见 $t = 2\ 654\text{ ms}$ 时刻的图片. 短路电流使得“小桥”由于过热气化而迅速爆断,电弧又重新引燃,见 $t = 2\ 655\text{ ms}$ 时的高速摄像图片,至此,电弧从焊丝A上转移至焊丝B上.

单丝燃弧形式中熔滴的过渡方式为短路过渡,且短路过渡开始标志电弧转移的开始,随着焊丝A、B、C短路过渡的发生,电弧在三根焊丝上随机进行转移.

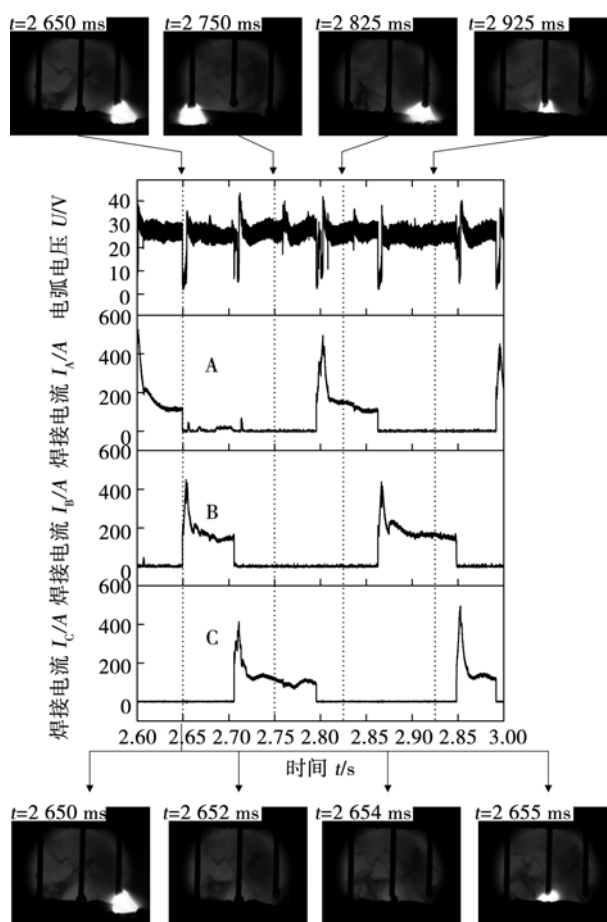


图3 单丝燃弧的电弧形态与同步电信号对应图

Fig. 3 Corresponding graph of arc shape and synchronous signal under single-wire arcing condition

第二种燃弧形式为双丝燃弧,对应的预设电压为28 V,其电信号及高速摄像图片如图4所示.

如图4所示,电弧在两根焊丝上轮流燃烧,与单丝燃弧相比,电弧弧长、体积及亮度均有所增加,由于焊丝通以同向电流,因而两两电弧相互吸引发生偏移,熔滴的过渡方式为大滴过渡. 在 $t = 462, 500, 650, 725\text{ ms}$ 时,依次为BC焊丝、AB焊丝、AB焊丝、AC焊丝燃弧. 电信号下方的高速摄像图片为电弧

转移的瞬间,当 $t = 614$ ms 时仅 BC 焊丝燃弧,A 焊丝处于熄弧状态,随着 A 焊丝的不断送进,当 $t = 616$ ms 时 A 焊丝重新燃弧,且 A 焊丝上电弧的体积和亮度均不断增加,与此同时,C 焊丝上电弧的体积和亮度不断减小,见 $t = 622$ ms 时的高速摄像图片. 在 $t = 624$ ms 时,焊丝 C 上的电弧几乎熄灭,变为 AB 焊丝燃弧,至此,电弧从焊丝 BC 转移至焊丝 AB 上.

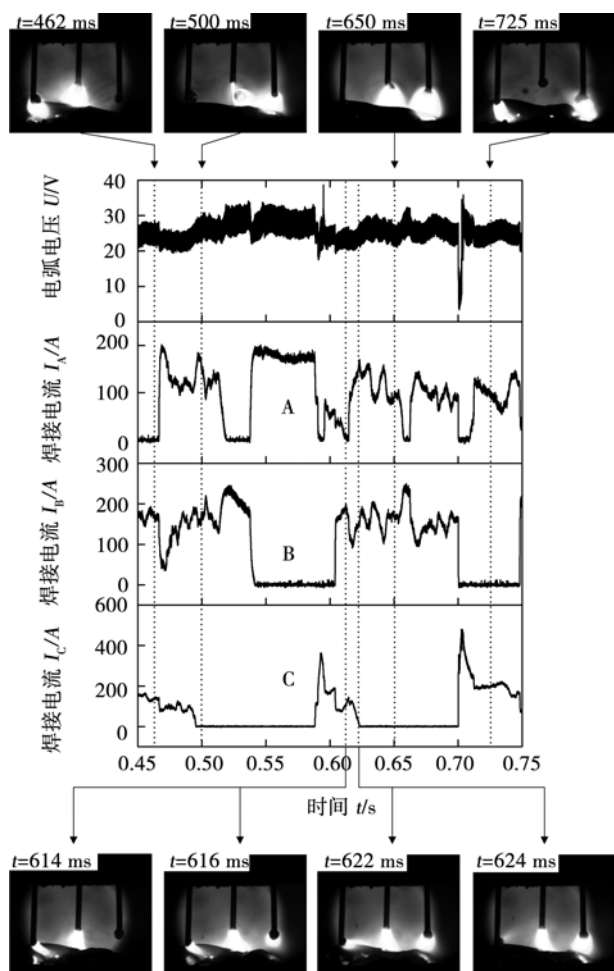


图 4 双丝燃弧的电弧形态与同步信号对应图

Fig. 4 Corresponding graph of arc shape and synchronous signal under twin-wire arcing condition

当电弧在两根焊丝上燃烧时,随着未燃弧焊丝的不断送进,在距熔池一定距离时,该焊丝将会重新燃弧,进而发生电弧的转移. 这是由于当焊丝越靠近熔池时,电弧弧长被压缩,通过电弧截面的离子数目增加,电弧的导电性增强. 此外,由于熔池附近充满铁蒸汽,铁的电离电压 (7.9 V) 比氩的电离电压 (15.7 V) 低很多,越靠近熔池,电弧气氛的电离电压将由铁蒸汽的电离电压来决定,致使要求的外加能量级降低,焊丝越容易重新燃弧.

第三种燃弧形式为三丝燃弧,对应的预设电压

为 30 V,其电信号及高速摄像图片如图 5 所示.

如图 5 所示,与单丝燃弧、双丝燃弧相比,三根焊丝同时燃弧时,电弧长度明显增加,且两侧电弧由于电磁引力的作用而向中间电弧倾斜. 熔滴过渡的方式为大滴过渡, $t = 2\ 150, 2\ 280, 2\ 311, 2\ 370$ ms 时均为三根焊丝同时燃弧的状态. 中间电弧由于受到左右两侧电弧的同时吸引,两侧电磁引力可以相互抵消,因而中间电弧几乎未发生偏移. 而两侧电弧同向中间电弧偏移,当偏移量到一定值时,三个电弧其中一部分彼此融合,形成了共有的电弧导电通道,见 $t = 2\ 311$ ms 时的高速摄像图中椭圆区域. 电信号下方的高速摄像图片是由双丝燃弧到三丝燃弧的过渡过程. 起初 $t = 2\ 304$ ms 时,仅有 B, C 两根焊丝燃弧,随着焊丝 A 的不断送进,在 $t = 2\ 305$ ms 时焊丝 A 重新燃弧,且电弧 A 向电弧 B 偏移,由 BC 双丝燃弧变为 ABC 三丝同时燃弧,见 $t = 2\ 306, 2\ 307$ ms 时的高速摄像图片.

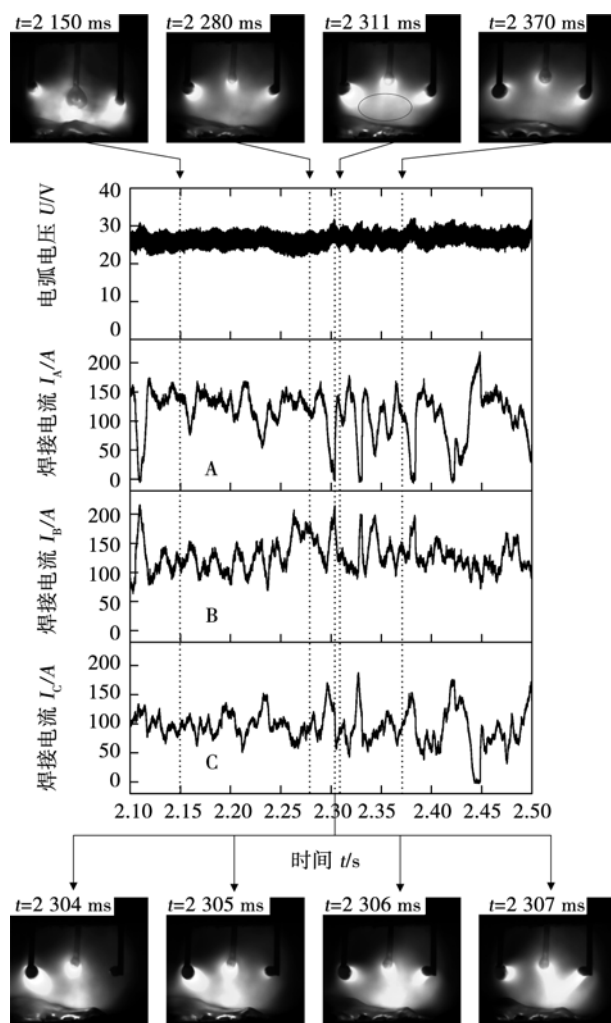


图 5 三丝燃弧的电弧形态与同步信号对应图

Fig. 5 Corresponding graph of arc shape and synchronous signal under triple-wire arcing condition

在单丝燃弧和双丝燃弧形式下,导电通道彼此独立,而在三丝燃弧形式下,三个电弧形成了共有导电通道,这是三丝同时燃弧的最大特点。

2.2 电弧共有导电通道的建立

在试验中,电弧可以视为等离子体,当两焊丝通以相同电流时,电弧相互吸引而发生倾斜。三根相互靠近的焊丝以等边三角形的方式排列,当通以同向电流时,由于中间电弧电磁引力的作用,两侧电弧会向中间电弧偏移,三个电弧其中一部分会相互融合,从而建立共有导电通道。

三熔化极电弧焊共有导电通道的建立包括三个过程:首先,三个熔化极分别与母材之间形成各自的导电通道;其次,三个导电通道在电磁引力作用下,相互吸引彼此偏移,打破各自原有导电通道,形成共同的导电通道;最后,新的导电通道调整至稳定状态。

2.2.1 电弧的引燃

电弧的燃烧是工件和电极间的气体强烈持久的自持放电现象,两电极间气体导电必须具备两个条件^[8]:(1)两电极之间有带电离子;(2)两电极间有电场作用。焊接电源提供了焊接电压、电流,维持了电弧引燃所需要的电场,产生了大量的光和热,进而引起电极表面电子发射,导致气体原子的激发、电离,在电场的作用下,形成了带电粒子的定向移动,从而破坏了气体绝缘性,即产生了气体介质强烈而持久的放电现象。该过程是共有导电通道建立的基础,首先满足了三根焊丝各自的稳定燃弧。

2.2.2 三电弧导电通道的融合

起初,三根焊丝开始燃弧,并形成各自的电弧导电通道,此时,电弧体积较小。然后随着电弧燃烧逐渐趋于稳定状态,弧柱体积增加,导电区域面积增大,由于强烈的电磁引力作用,电弧间相互吸引而发生偏移,且随着偏移量的增加,最后打破各自原有导电通道,相互融合进而形成统一的电弧空间,即共有导电通道。随着焊接参数的不断增大,共有导电通道的导电能力也会显著增强。

2.2.3 建立稳定的共有导电通道

共有导电通道形成后,焊接电源施加在三根焊丝上的能量通过同一电弧空间作用在母材表面,其弧柱区内均满足“最小电压原理”,通过自身调节弧柱截面以满足最小能量损失的要求。弧柱区主要承担着热电离及传导电流的任务,是共有导电通道的核心区域。当焊接电流增加时,电弧的“电磁收缩效应”增强,共有电弧区域向中心收缩,阻碍了导电通道的外扩,致使导电区域内的电流密度增加,显著增强了共有导电通道的导电能力。此外,形成共有导

电通道后,降低了提供电弧导电所需要的带电粒子要求的外加能量级,更有利于电弧的稳定燃烧。

图6给出了送丝速度为2.5 m/min时三熔化极电弧的燃弧形式、导电通道的存在形式与预设电压之间的关系。

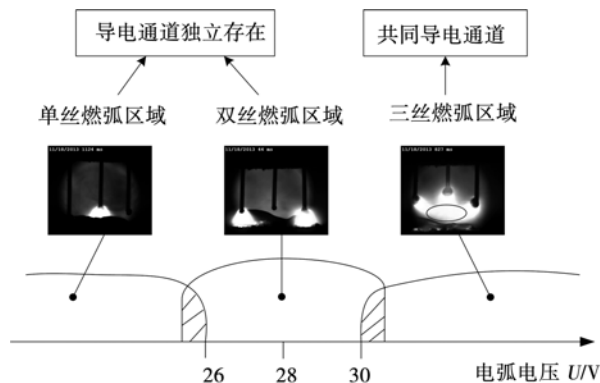


图6 燃弧形式、导电通道形式与电压的关系

Fig. 6 Relationship of arcing mode, conducting channel mode and preset voltage

如图6所示,当预设电压小于26 V时,焊丝的主要燃弧形式为单丝交替燃弧;预设电压大于30 V时,焊丝的主要燃弧形式为三丝同时燃弧;在26~30 V之间以及图6中斜线范围内的过渡区,焊丝主要燃弧形式是双丝燃弧。

由燃弧形式随预设电压的变化趋势可知,当预设电压小于26 V时,电源供给的能量较小,仅能维持一个电弧稳定燃烧。当预设电压继续增大至30 V时,三个电弧开始同时燃烧,电弧长度增加,导电区域面积增大,由于相互吸引而向对方倾斜,各自的导电通道开始出现融合,形成共有导电通道,见图6中三丝燃弧时的椭圆区域。当预设电压继续增加时,共有导电通道内导电粒子数目增加,电弧的导电能力增强。

3 结 论

(1) 共有导电通道的建立分三个阶段:首先,三个电极与母材之间形成各自的导电通道,其次,三个导电通道在电磁引力的作用下彼此倾斜,打破各自原有导电通道建立共同的导电通道,最后,新的导电通道根据自身状态调整至稳定状态。随着焊接电流的增加,共有导电通道的导电能力增强,更有利于电弧稳定燃烧。

(2) 当预设电压小于26 V时,焊丝的主要燃弧形式为单丝燃弧;预设电压大于30 V时,焊丝的主

要燃弧形式为三丝燃弧;在 26 ~ 30 V 之间,焊丝主要燃弧形式是双丝燃弧. 随着预设电压的增加,燃弧形式由单丝燃弧向双丝燃弧以及三丝燃弧过渡转变.

参考文献:

- [1] Knight D E. Multiple-electrode welding by "union melt" process [J]. Welding Journal, 1954(4): 303 - 312.
- [2] Lytle, Frostel. Submerged-melt welding with multiple wires in series[J]. Welding Journal, 1951, 30(2): 103 - 110.
- [3] Tusek J. Mathematical modelling of melting rate in arc welding with a triple-wire electrode[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 146(3): 415 - 423.
- [4] Arita H, Morimoto T, Nagaoka S, *et al.* Development of advanced 3-electrode MAG high-speed horizontal fillet welding process[J]. Welding in the World, 2009, 53(5 - 6): 35 - 43.
- [5] 华学明, 马晓丽, 林 航, 等. 高速三丝熔化极气体保护焊接工艺[J]. 焊接学报, 2008, 29(12): 99 - 112.
Hua Xueming, Ma Xiaoli, Lin Hang, *et al.* Three-wire MAG high speed welding process[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2008, 29(12): 99 - 112.
- [6] 华学明, 王 飞, 马晓丽, 等. 三丝 GMAW 焊接过程电弧中断现象分析[J]. 上海交通大学学报, 2010, 44(4): 443 - 446.
Hua Xueming, Wang Fei, Ma Xiaoli, *et al.* Research on arc interruption of triple-wire GMAW[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2010, 44(4): 443 - 446.
- [7] 藤村浩史, 井手荣三, 井上弘法. 高速アーク溶接法の開発[J]. 溶接技術, 1990, 38(3): 108 - 114.
- [8] 殷树言. 气体保护焊工艺基础及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.

作者简介: 向 婷,女,1990 年出生,博士研究生. 主要研究方向为高效率焊接理论及工艺. Email: xiangting123@tju.edu.cn

通讯作者: 韦辉亮,男,博士. Email: weihuilang@tju.edu.cn

书 讯



书号: 978-7-111-53038-1
作者: 于启湛 史春元 编著
定价: 69.00 元

◇ 理论全面系统

◇ 实际资料丰富

《金属间化合物的焊接》

本书主要讨论了铝基金属间化合物的焊接,即铝-镍、铝-钛和铝-铁之间化合物的焊接,以及它们与金属之间的焊接,也讨论了这些金属间化合物与陶瓷之间的焊接,最后还介绍了在金属表面涂覆陶瓷和金属间化合物。全书将各种金属间化合物的扩散焊和钎焊作为讨论的重点,用一章的篇幅专门讨论元素的扩散,研究固态材料的表面性能。

本书可以作为高等院校材料类专业师生的参考书,也适合从事材料科学研究的工作者和有关设计、生产方面的技术人员参考。

编辑热线:010-88379733 购书热线:010-88379425 传真:010-68351729 焊接微信公众号:进入微信搜索“好焊悦读”
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