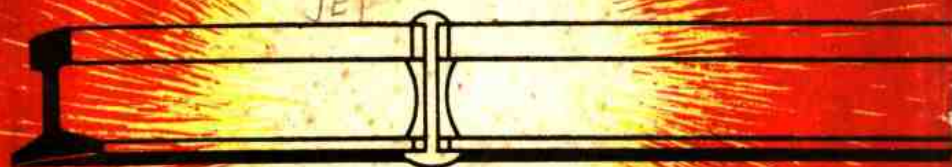


137102

77.7-
JET



德国 魏纳·勒恩塔 著 李传文 译
弗利茨·普洛什 著 陈廷林 校

铝热焊接

铁道部工务局印

期 表

前言.....	1
1. 铝热焊的发展及重要性.....	3
1.1 历史.....	3
1.2 铝热焊与其它焊接法的区别.....	5
1.21 焊接方法的分类.....	6
1.22 铝热焊的特点.....	6
1.23 对几种焊接方法的说明.....	7
1.24 軌縫焊接法的应用范围.....	11
1.241 铝热焊.....	12
1.242 气熔焊.....	12
1.243 閃燃焊.....	13
1.25 軌縫焊接的效率.....	13
1.26 补修焊接法的应用范围.....	13
1.27 铝导线焊接法的应用范围.....	14
2. 化学物理的基本原理.....	14
2.1 金属热工学.....	18
2.11 金属热反应的影响因素.....	19
2.2 用金属氧化还原制铁.....	21
2.21 反应过程.....	22
2.22 反应产物.....	24
2.221 铝热铁.....	24
2.222 熔渣.....	26
2.23 反应温度.....	27

3. 焊剂材料及焊剂制备	29
3.1 点燃剂（即焊剂中的氧化铁，以下同一译注）	29
3.11 原料	29
3.12 化学成分	30
3.13 物理性质	31
3.14 点燃剂的制备	34
3.2 铝粉	38
3.21 原料及其化学成分	38
3.22 物理性质	39
3.23 制备	41
3.3 提高铁生成量的添加剂	41
3.31 制备	42
3.4 合金添加剂	42
3.5 焊剂材料的配方	42
3.51 成批焊接用的焊剂	43
3.52 个别焊接用的焊剂	43
3.53 特殊情况用的焊剂	43
4. 铝热焊接法	44
4.1 铝热压力焊的原理	44
4.2 铝热熔鑄焊的原理	47
4.3 铝热联合焊的原理	49
4.4 铝热插入焊的原理	50
4.5 铝热馬弗炉焊	51
4.6 用反应鑄模的铝热熔焊	55
4.7 铝热法的特殊用途	58
5. 铝热焊接冶金学	59

5.1	鋁熱焊中的可焊性材料	60
5.2	合金元素的鑑定	62
5.21	碳	62
5.22	矽	62
5.23	錳	63
5.24	鈦	63
5.25	鈮	63
5.26	鋁	63
5.27	硫	64
5.28	磷	64
5.3	在鋁熱焊時鋼料的混合法	64
5.4	熔化損失	67
6.	鋁熱焊的特點與特性	68
6.1	用熔鑄法焊接鋼軌的實例	69
6.2	用鋁熱聯合焊法焊接鋼軌的實例	71
6.3	有缺陷的鋁熱鑄焊實例	75
6.31	化學分析	76
6.32	拉力試驗	76
6.33	彎曲試驗	76
6.34	沖擊試驗	77
6.35	金相試驗	77
6.4	用鋁熱法焊接的鍛件實例	79
6.41	化學分析	80
6.42	硬度試驗	80
6.43	焊縫試驗	81
6.44	強度試驗	83
6.45	循環彎曲試驗	83

6.5	用鋁熱焊法焊接85毫米直徑軸的实例	84
6.51	延伸与收縮的測定	84
6.52	澆注孔, 出气孔, 基本材料及焊件的化学成分	86
6.53	拉力試驗	86
6.54	弯曲試驗	86
6.55	冲击試驗	86
6.56	可鍛性試驗	87
6.57	强度試驗	87
6.58	金相試驗	87
6.6	鋁熱焊接軌縫的耐用性試驗实例	94
6.61	試驗程序	95
6.62	負荷值的記錄	96
6.63	試驗条件与試驗过程	96
6.64	試件負荷的計算	97
6.65	試驗結果	98
6.66	結論	101
7.	熔煉坩堝	102
7.1	对熔煉坩堝的要求	103
7.2	制造坩堝內衬与外皮的材料	104
7.21	鎂砂	104
7.22	矽酸	105
7.23	熟耐火粘土	105
7.24	礬	105
7.3	坩堝內衬的制备	105
7.4	熔煉坩堝的构造与性能	107
7.5	坩堝的尺寸与容积的扩大	108

7.6	坩堝的处理	110
7.7	坩堝的安置及輔助設備	111
7.71	焊补用的輔助設備	111
7.72	焊接鋼軌用的輔助設備	112
8.	鋁熱焊的型砂	112
8.1	鋁熱焊的特殊要求	113
8.11	耐火性	113
8.12	透氣性	115
8.13	抗压及抗剪强度	115
8.14	抗裂强度及热膨胀性	116
8.2	型砂成分	117
8.21	基本材料	117
8.22	湿度	119
8.3	石英砂顆粒	119
8.31	顆粒度及砂粒形状	119
8.32	顆粒度分析	120
8.4	合成砂的适应性	120
9.	予热	121
9.1	予热的概念	121
9.2	焊接鋼軌时的予热	122
9.3	焊补时的予热	123
9.4	予热材料	125
10.	澆鑄技术的概念	126
10.1	鑄件的缺陷	127
10.11	縮孔的产生	127
10.12	气孔的产生	130
10.13	其他缺陷	134

10.2 断面部份	134
10.3 出气口	137
11. 铝热焊的主要规格	138
11.1 铝热焊接时产生不同情况的分析	140
11.11 熔化所需要的热量	140
11.12 热量的传导	142
11.13 浇注方向的选择	146
11.2 主要规格的确定	146
11.21 焊缝	147
11.22 浇铸溢边	148
11.23 断面与出气口	150
11.24 预热沟	153
11.25 铸型框架	155
11.26 熔渣头	156
11.27 焊剂量的计算	157
11.3 第11节的结语	157
参考文献	158
第二册及第三册内容予告	158

前 言

汉斯·哥尔德斯密特是铝热焊的创始人。五十多年以前，当气焊和电弧焊刚刚发明，还没有在工业上应用时，人们就曾经在电车轨道的焊接中大量地试用了铝热焊法。直到今天这个方法及其应用范围还没有什么很大的变化。铝热焊的厂史是比较久远的，然而尽管如此，关于这项专门知识甚至在焊接专家中间也是很缺乏的。由于对这种方法及其应用产生某种“神秘气氛”的观点，使焊接工作者很少注意焊接过程中的影响，并由于这方面的知识缺乏和焊料垄断的生产，使铝热焊在焊接技术中成为“局外人”，这就阻碍了它的推广、改进和发展。

多年来我们做为焊接技术领域中的研究与顾问的工程师，和做为制造铝热焊法焊料的工程师，因而有可能积累了一些关于铝热焊方面的丰富经验。如何推广和发展这些经验，看来是我们当前的迫切任务。特别是目前国际上关于这方面的专门资料还是不十分完备。仅有为数不多的公开文献也只限于铝热焊的一般论述和一些普通应用实例而已。

根据不同的目的，我们将全部资料分成几个部分，第一册将详尽地介绍化学物理的基本概念，各种不同的方法焊接物品和焊接处的特性，焊料以及铝热焊接的意义与应用。

第二册及第三册是在第一册的基础上的加以补充。其中第二册是阐述在铁道线路上使用铝热焊的专门问题，第三册则是关于使用铝热焊修补和焊接坚实的大横断面问题。

我们是在特别困难的条件下开始铝热焊工作的，我们所

有的經驗和知識全都是通过自己的研究試驗和觀察得来或者肯定下来，錯誤在所难免，因此希望讀者能給予指正。

我們这本书之所以出版，而是借以弥补有关这方面专业文献的不足。同时，感謝哈勒市民主德国中央焊接技术研究院及哈勒市国营阿門道夫电气化学工厂。特别是民主德国中央焊接技术研究院院长 W. 吉尔德博士和柏林洪堡大学材料与工艺学院院长呂达教授，編写本书过程中給予了宝贵的指导，敬向他們致以謝意。

于罗司篤克及哈勒，1958年11月

W. 鞠恩塔 F. 普洛謝克

1. 鋁热焊的发展及重要性

鋁热焊在一开始仅是用于鋼軌的焊接。不久人們就发现用这种方法焊接坚实的大横断面体也有很大的优点。把容易鑄造的单件利用焊接法制成大型的整体鋼构件，为这个方法的应用开辟了新的途徑。近来自从采用所謂馬弗炉焊接法以来，能質量良好地将鋁导綫焊接在一起。用此同样方法焊接銅綫与鋼綫也获得了成功，所以鋁热焊的应用范围更为广闊了。

鋁热焊法的技术細节及其优良的适应性許多焊接专家还未明了，因此常常低估了鋁热焊的重要性。現在已經肯定了綫路上使用鋁热焊焊接鋼軌的优良特点。但对用这种方法有利于焊补方面尚未得到广泛推广。特别是，1945年以来在民主德国就开始采用这种方法。将重量达30吨损坏横断面达6000 厘米² 的机器单件可以用这种方法成功地焊补修好。往往長時間需要更换的破损的机件，利用鋁热焊法使重要的主要构件得到保証。

在每年民主德国国营鉄路、近郊鉄路及国营大企业的工业鉄路用鋁热焊焊接30多万鋼軌的同时，还常常在修理与制造中使用此法焊接坚实的大型断面构件。如前述，民主德国还已經成功地用鋁热馬弗炉焊法焊接鋁导綫，由此可以预料，此法必将得到更進一步的发展。

1.1 历史

1899年鋁热焊的創始人，德国科学家汉斯·哥尔德斯密

特获得了它所发明的铝热焊法应用在焊接钢轨的第一个专利权。早在1860年许多研究人员就在从事用铝使氧化铁还原的研究。1890年以后，汉斯·哥尔德斯密特探讨了这个问题，并且第一个奠定了正确的理论基础。由于他的特殊努力，才有可能在实际中成功地应用这个新方法。

哥尔德斯密特经过系统地研究，认为铝、锰、钛、钒、铁及其他一些金属是可以脱碳的。这样就为冶炼高质量钢创造了重要条件。在焊接技术上主要是利用这种炼钢可能性的发明。除了坩埚外，不需要特殊装置与设备，不受时间和地点的限制，在大约 2500°C 的温度下，在数秒钟内就能炼出钢来。一种熔渣层将保护这种钢免受大气的影响。这种冶炼钢方法除为了焊接目的外，在经济上没有什么意义。

自1900年有了有轨电车后，由于速度和机动车辆的提高，对于轨道的要求也就高了。铝热焊正适逢其时，对此做出了重要的贡献，完全满足了焊接钢轨的要求。汉堡、德累斯顿、柏林等市郊电车轨道首批采用了铝热焊。以后，在国内外的其他近郊电车轨道上几乎都相继采用了此法。

在铁路上以非常慎重的态度对待这种新的钢轨连接法，并且很有兴趣地注视着铝热焊在电车轨道方面的发展。电车轨道借助铝热焊接法就较快地完成合乎理想的无缝线路。由于铁路的速度高、负荷大，需要保证绝对安全，以及当时线路上部建筑的条件限制，最初，仅进行了试验性的研究。这段时期是在1905—1912年之间。在当时，已经采用这种新方法，来焊制隧道与桥梁上的无缝钢轨。当时采用此法的基础是具有平均温度的环境或者是钢桥承载结构具有与钢轨同样的膨胀系数。

很久以来，人们就已经明了焊接的无缝钢轨的显著优

点，但是，还不完全清楚，怎样来控制鋼軌的热漲。人們需將伸縮變成应力。因而需要相適應的鋼軌扣件和改造上部建築。由於這些原因，此法首先僅用於焊接較短的鋼軌。德國國營鐵路於1928年開始批准採用此方法。亦如前所述，一開始只用在焊接隧道與橋梁上的鋼軌。後來逐步地在全部站場綫路上採用鋁熱焊法來焊接。

美國開始大規模在綫路上焊制無縫綫路是從1935年起。德國以及附近的其他鄰國是從1945年起才開始系統地進行焊制無縫綫路。到現在止，德國已焊制了數千公里無縫綫路（每根最短長度為300米）。因為今天人們已經徹底地掌握了與無縫綫路有關的一切問題，可以確信，無縫綫路將來在鐵路上必將廣泛應用。而鋁熱焊更要在這方面起決定性的作用。

隨着鋁熱焊的發展，人們繼續試用此法焊接堅實的大型斷面結構。但是，保守思想阻礙了此法在這方面的順利發展。儘管如此，漢斯·哥爾德斯密特還是引用特別主動的具體實例證明了這種想法的正確性。

1942年起，利用所謂鋁熱馬弗爐焊在焊接高空電纜工程中取得了實際經驗和效果。根據這樣的新焊接法首次在瑞士焊接了跨越阿爾卑斯山隘革默尼、以及盧克曼尼爾、布陵尼希、哥達德、新普倫等處的65千伏及225千伏的鋁制電纜。第二次世界大戰後，鋁熱馬弗爐焊在民主德國以及其他國家均開始應用。這個方法應用在焊接鋼筋方面也同樣地取得優良效果。

1.2 鋁熱焊與其他焊接方法的區別

各種焊接方法的應用範圍受各種不同因素的影響很大。

首先是应当考虑各种生产方法的技术条件。但是生产方式（单件生产，成批或大批生产）、钣的厚度，焊接位置、材料，技术管理条件（装备）、工地条件等对于采用哪种焊接方法，最为有利，也是有很大影响的。从工艺观点来看，常常会有几种焊接方法都能满足所要求。在这种情况下，显然是考虑它是否经济。对于焊补工作，首先应该考虑的是以最短的时间来完成焊补的问题。

在现代焊接技术的发展中，产生另外一个重要因素，常常对选择适当的焊接方法起影响。就是在工业生产中，随着机械化与自动化的发展，应当优先采用的是最能适合更改了的工艺条件的方法。

1.21 焊接的分类

已知的焊接方法一般可按下述情况分类：

1. 根据焊件的材料种类（金属、人造材料），
2. 根据焊接的目的（焊接、堆焊）；
3. 根据焊接的方法（人工焊、自动焊）；

在金属焊接中有两种方法——溶焊与加压铸焊。

德国工业标准（DIN）1910，规定溶焊的定义：

利用热量，将溶液流过阻止的一定部位，一般还需加进添加剂，将金属材料连接在一起，这叫做溶焊。

德国工业标准（DIN）1910，规定压铸焊的定义：

在压力下，使局部加热或不加热，而且一般不加添加剂，将金属材料连接起来，这叫做加压焊。

1.22 铝热焊的特点

铝热焊法同样适用前面所说的定义，虽然这种焊接与铸造过程相似。铝热焊的冷凝与冷却过程十分符合于铸造过程的规律。因此，为了掌握铝热焊法，需要具备焊接技术和铸造

技术两方面的基础知识。表 1 是最令人注意的 各种 焊接方法。

表 1 指出：铝热焊法作为一种综合焊法而特殊介绍出来，在这种生产过程中，既是加压焊，同时又是熔焊。

表 1

各种金属材料的焊接法一览表

熔 焊 法	加 压 · 铸 焊 法
1. 电弧焊 1.1. 金属极电弧焊 1.11 具有熔渣或无熔渣的嵌式电弧焊（无药焊条，薄药焊条，中 药焊条，厚药焊条） 1.12 封闭式电弧焊 1.13 用特殊保护气体的电弧焊 1.2. 炭极电弧焊 2. 气焊 3. 电阻熔焊 3.1. 电渣焊 4. 浇铸焊 5. 铝热熔焊 5.1. 熔罐焊 5.2. 插入焊 5.3. 马弗炉焊	1. 电阻加压焊 1.1. 对焊 1.11 压力焊或堆焊 1.12 熔焊或接触焊 1.2. 缝焊 1.3. 点焊 1.4. 浮凸焊 2. 气压焊 2.1 气堆焊 2.2 气焊燃焊 3. 感应压力焊 4. 锻焊 4.1 火焊 4.2 水煤气焊 5. 冷压焊 6. 铝热加压焊

熔压混合焊

铝热混合焊接法

1.23 几种焊接方法的说明

下面对几种新的重要的焊接方法加以简单说明，作为表一的补充。

熔焊法：

表中 1、12 封闭式电弧焊亦名 UP 法。这种方法是电弧被一种粒状物质（焊粉）封闭着。这种焊粉可使热量高度集中，从而将部分成为熔渣，以承担冶金熔液的作用。它具有很高的焊接效率而著称。表中 1、12 还列举了 EH 焊接法（ELIN—Hafergut 焊接法），这是一种特别简单的方法。把厚药焊条放在焊件上，并用一根铜板条盖在上面，使之接受电极的导沟。在电弧点燃后，由于盖复作用而保证了均匀的电弧长度。

表中 1、13 用特殊保护气体的电弧焊是包括在所谓保护气体焊内，氧电弧焊是最老的方法已很少使用。它是综合了电弧焊与标准的气体熔焊。乙炔火焰吹在金属电极弧上，氩原子电弧焊的电弧不是直接放到焊件上，而是在两个钨棒电极之间，用氩做为保护气体。焊接时可用或不用添加剂。焊接成本十分高。氩电弧焊（WIT）也是用钨棒电极。所形成的电弧是直接和焊件接触而被氩气包围着。由于电弧和熔液受到很好的保护，焊铝时可以不用助溶剂。焊接效率将比氩原子电弧焊为高。西格马电弧焊（Mit）基本上与氩电弧焊相似，但使用一种本身做为填充材料而消失的电焊条。所用的电焊条材料，与焊件材料是同一金属。此法焊接效率很高，一般可以机械化生产。它首先应用在非铁金属的焊接方面，特别是铝、铜，高合金钢及薄钢板。二氧化碳电弧焊（ CO_2 ）在装备与方法上与西格马电弧焊相似，但用二氧化碳为保护气体。

表中 3、1 电渣焊，此法是苏联创造的新方法，电流通过熔渣液传到焊件上，熔渣在这里构成电阻作用。高热的熔渣使焊件的边缘熔化。同时在熔渣液中连续移动的电焊条也

在熔化。由于比重的不同，在升高的溶液中将流体熔渣从焊缝中排出。此法适用于厚鋼板的豎立焊方面。特别是在制造大块的工件时，用此法焊接密合的断面，具有重要意义。此法可以并排放許多电焊条，并使电焊条作摆状运动，从而可能焊接达一米厚的横断面。以往只能用鋁热焊的焊补工作，現在也有用电渣焊法代替。但它需要很大的电源，所以鋁热焊的基本优点并不会因此而减色。鋁热焊对于地点与時間是不受什么限制的。

表中 4—鑄焊此法多用于鑄造生产中。高热的流体状鑄鉄，如熔炉一般起着热源的作用。同时作为添加剂同样在鑄鋼生产中，也可用鑄焊。

表中 5 所說的鋁热熔焊，关于它的化学物理原理将在后面还要詳細論述。在此处仅在原則上作一般介紹。鋁热焊是利用氧化鉄与鋁在还原过程中产生熔鋼的热量来进行焊接的。当进行鋁热焊时，焊件予加热一般在固相綫以下。鋁热鋼仅作为一种热源，因而在熔鑄焊时使其熔化即可。同时，鋁热鋼还成为焊接的主要部件。

加压焊

表中 1 所示的电阻加压焊，仅列举了其中最主要的部份。这种方法一般是利用电流通过焊件本体所产生的內阻，首先是由接触点的接触电阻来产生热量，等达到所需要的焊接热量时，通常是自动地利用压力来进行焊接。

表中 1、4 所示浮凸焊法是使互相重疊的焊件制成，所謂駝背或凸瘤状的焊形。焊接所需要的热量产生于接触处，焊接以后，使接触处部分地或全部地成为平滑面。

表中 3—感应加压焊，是一种新的高效率方法。利用感应綫圈造成渦旋电流，将焊件加热到所需要的温度。加热地

帶比較狹窄。而焊接本身利用壓力來進行。

表中 5 所示的冷壓焊是一種還來推廣的方法。這種方法是利用高壓使材料熔化的。

× × ×

所有焊接方法都可以根據其物理化學原理下一個明確定義。但是很難，準確地劃定它應用界限。除了已經介紹的各種因素外，目前事實上，最常用的一些焊接法能在不斷地改進。因而焊接技術正是在不斷的發展中。表 2 是一些主要焊接法的主要應用範圍。

表 2

一些主要焊接法與鋸熱焊應用範圍的比較

焊接方法	個別加工		半成品的	現場焊接	堆 焊	修 補 焊
	薄鋼板	厚鋼板	成批加工			
鋸熱焊	否	否	否	最宜於焊接鋼軌與鋁導線	很少，但有時很適用	很適用，特別是對於焊補密接的橫斷面
人工電弧焊	不適用	適用	適用	很適用	非常適用於各種工具	很適用
氣體熔焊	適用	否	對薄鋼板適用	很適用，特別是對管子的焊接	適用於各種工具	很適用，特別是對於鑄鐵件
封閉式電弧焊	否	很適用	很適用	不適用	很適用於大面積物件（軋鋼機）	有時很適用
保護氣體電弧焊	很適用	否	很適用，特別是對於薄鋼板	不適用	有時適用	有時適用
電阻焊	很適用	否	很適用，對密接的橫斷面	很少用，但有時很適用	否	否