

全国工人中级技术考核培训教材



电 焊 工



中国劳动出版社

本书是为了贯彻《工人考核条例》，根据原机械工业部颁发的《工人技术等级标准》的应知、应会要求，由劳动部培训司组织编写的全国工人技术考核培训教材。

本书内容包括两部分：第一部分为技术基础，包括焊接过程基本理论，焊接工艺及设备，常用金属材料的焊接，焊接应力及变形，焊接缺陷与检验方法；第二部分为试题及答案。

本书可作晋级考核前的自学和培训教材，也可供其他有关人员参考。

本书由李瑞文编写，张海臣审稿。

电 焊 工

劳动部培训司组织编写

责任编辑：金龄

中国劳动出版社出版

（北京市和平里中街12号）

隆昌印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 13印张 281千字

1990年6月北京第1版 1990年6月北京第1次印刷

印数：30100册

ISBN 7-5045-0498-X/TG·049 定价：4.60元

前 言

为了适应工人岗位培训和贯彻《工人考核条例》，建立工人培训、考核、使用相结合的制度，推动职业技术培训，提高工人队伍素质的需要，我们组织编写了这套《全国工人中级技术考核培训教材》。首批编写出版的有车工、钳工、铣工、刨工、磨工、气焊工、电焊工、热处理工、化铁工、维修电工等十种教材。以后将陆续编写出版其他工种教材。

《全国工人中级技术考核培训教材》，在内容编排上突破了文化课、技术基础课、专门工艺学的模式。从工人岗位生产技术的实际出发，内容少而精，文字通俗易懂，图文并茂，理论联系实际，突出操作技能训练。全书分两部分。第一部分内容着重阐明本工种中级技术的生产工艺、设备调整与维修等操作技能和技术理论知识及新技术、新工艺、新设备的有关知识。第二部分内容汇集了本工种的数百例试题与答案。因此，这套教材紧密结合在职工人岗位培训需要，可供组织升级考核复习和学员练习使用，也可供有关行业的人员自学使用。

在编写这套教材过程中，得到辽宁省劳动局、沈阳工业学院、沈阳第一机床厂等单位的大力支持，在此深表谢意！

参加本套书编写组织工作的人员有：王佐明、胡呈祥、魏学良、吴景彦、王福山、金文魁、张荣恒、牛忠祥、王醒

愚、赵景莖、邹孝慈、李宝忠、吴阳、赵容、李全治。

编写全国工人技术考核培训教材仅仅是初次尝试，由于经验和水平有限，不足之处在所难免，恳切欢迎各单位和个人提出宝贵意见和建议。

劳动部培训司

1989年12月

第一部分 技术基础

第一章 焊接过程基本理论

焊接过程是比较复杂的，它与焊接电弧、熔滴、焊接区内的气体、熔渣、焊缝成形等一系列因素有关。作为一名中级电焊工，必须了解和掌握焊接电弧的实质、熔滴过渡的作用、焊接区内的气体及其影响、焊接结晶、焊接接头热影响区的组织和性能的变化等基本理论知识。

§1-1 焊接电弧

一、焊接电弧

1. 焊接电弧的概念 焊接时，将焊条与焊件接触后又迅速离开，这时在焊条端部和焊件之间立即产生明亮的电弧，见图1-1所示。

从图1-1可以看到，电弧是在焊条端部和焊件之间的间隙中产生的。因此，我们可以说：由焊接电源供给的、具有一定电压

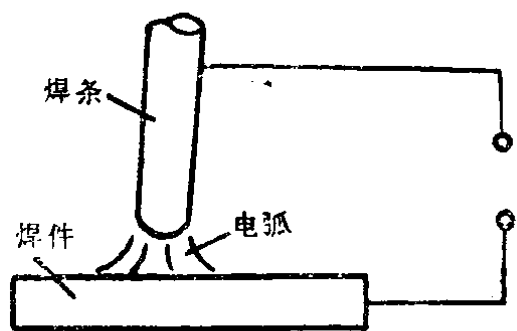


图1-1 电弧示意图

的两电极之间的空气间隙中产生持久而强烈的放电现象，称为焊接电弧。

一般状态下，气体的分子和原子都呈中性，气体中没有带电粒子，因此气体不会导电。气体不导电，电流通不过，电弧就不能自发地产生。要使电弧引燃和稳定燃烧，就必须使两极间的气体导电，这是电弧产生和维持的重要条件。

使气体导电的方法是气体电离。气体电离后，原来气体中的一些中性微粒转变为电子、正离子等带电粒子，这时，电流才能通过气体间隙而形成电弧。

2. 气体电离 空气是由各种气体组成的，而气体和自然界的一切物质一样，都是由原子组成的。原子本身又由带有正电荷的原子核及带有负电荷的电子组成，电子按照一定的轨道环绕原子核运动。在常态下，原子核所带的正电荷与核外电子所带的负电荷相等，这时原子是不带电的，即原子呈中性。如果气体受到电场或热能的作用，就会使中性的气体原子中的电子获得足够的能量，克服原子核对它的引力而成为自由电子。同时，中性的原子由于失去了带负电荷的电子而变成带正电荷的正离子。

这种使中性的气体分子或原子释放电子形成正离子的过程叫做气体电离。使气体电离所需要的能量称为电离电位。

电离电位，即消耗于使电子与原子核分离的能，称为电离的功。以伏特来表示的功叫做电离电位或电离势。

还存在另一种可能，即当中性原子或分子受外来能量的作用，但还不足以使电子完全脱离气体的原子或分子，只可能使电子从较低的能级转移到较高的能级，破坏了中性粒子的内部稳定状态，这种状态称为激励，使中性粒子激励所

需要的最低外加能量称为激励电位，以伏特来表示。

电离电位与激励电位的大小取决于各种元素原子的性质。应当指出，电离现象不但发生在气体元素中，而且更容易发生在金属元素中。表1-1给出了各种元素所具有的电离电位和激励电位的大小。

表1-1 某些元素的电离电位和激励电位

电 位 (电子 伏特)*	元 素													
	钾	钠	钡	钙	钛	锰	铁	氢	氧	氮	氫	氟	氖	氦
电 离	4.33	5.11	5.19	6.10	6.80	7.40	7.83	13.5	13.6	14.5	15.7	16.9	21.5	24.5
激 励	1.60	2.10	1.56	1.90	3.30	3.10	4.79	10.2	7.90	6.30	11.6	14.5	16.6	19.7

注： * 在原子物理学中，常用电子伏特作为能量单位，1电子伏特的能量就是一个电子在通过电势差等于1伏特的一段路程上所需要或得到的能量（1电子伏特=1.6×10⁻¹²尔格）。

从表中可以知道，碱土金属的原子具有较小的电离电位，因此比较容易失去电子而电离成正离子；卤族元素的原子电离电位较大，较难电离成正离子，相反却容易形成负离子。正常情况下，电弧中的带电质点主要是电子和正离子。电弧中如果负离子较多，就容易与正离子结合成中性粒子而降低电弧的导电性，电弧的稳定性较差。

因此，为了使焊接电弧容易引燃和稳定燃烧，常在焊接材料中加入一些电离电位比较低的物质，如水玻璃（Na₂·SiO₂·H₂O或K₂O·SiO₂·H₂O）、碳酸钠（Na₂CO₃）、大理石（CaCO₃）等。

焊接时，气体电离的种类主要有热电离、电场作用下的电离、光电离等。

(1) 热电离 气体粒子受热的的作用而产生的电离称为热电离。温度越高，热电离的作用越大。

(2) 电场作用下的电离 带电粒子在电场的作用下，作定向高速运动，产生较大的动能，当不断地与中性粒子相碰撞时，就不断地产生电离。两电极间的电压越高，电场作用越大，则电离作用越强烈。

(3) 光电离 中性粒子在光辐射的作用下产生的电离，称为光电离。

3. 阴极电子发射 焊接时，气体的电离是产生电弧的重要条件，但是，如果只有气体电离而阴极不能发射电子，没有电流通过，那么电弧还是不能形成。因此，阴极电子发射也和气体电离一样，是电弧产生和维持的重要条件。

阴极的金属表面连续地向外发射出电子的现象，叫做阴极电子发射。

一般情况下，电子是不能自由离开金属表面向外发射的。要使电子逸出电极金属表面而产生电子发射，就必须加给电子一定的能量，使它克服电极金属内部正电荷对它的静电引力，所加的能量越大，促使阴极产生电子发射作用就越强烈。电子从阴极金属表面逸出所需要的能量称为逸出功。电子逸出功的大小与阴极的成分有关。表1-2为某些元素的电子逸出功。

从表中可以看出，不同金属的逸出功是不一样的。若所加的能量相同，则逸出功小的金属其阴极电子发射程度就越大。因焊条中的药皮里含有较多的钾、钠、钙等化合物，它

表1-2

某些元素的电子逸出功

元素名称	电子逸出功(电子伏特)	元素名称	电子逸出功(电子伏特)
钾	2.26	锰	3.76
钠	2.33	铁	4.18
钙	2.90	碳	4.34
钛	3.92	镁	3.74
铝	4.25	钨	5.36

们有利于阴极电子发射，从而促使电弧燃烧更稳定。

焊接时，根据阴极所吸收的能量不同，所产生的电子发射有以下几类：热发射、电场发射、撞击发射等。阴极发射电子后，又从焊接电源获得新的电子。

(1) 热发射 即电极（阴极）由于高温的作用而使电子逸出电极表面的过程。焊接时，阴极表面温度很高，阴极中的电子运动速度很快，当电子的能量大于阴极内部正电荷的吸引力时，电子即冲出阴极表面，产生热发射。温度越高，热发射作用越强烈。

(2) 电场发射 在强电场的作用下，由于电场对阴极表面电子的吸引力，电子可以获得足够的动能，从阴极表面发射出来。两电极的电压越高，金属的逸出功越小，则电场的发射作用越大。

(3) 撞击发射 当运动速度较高、能量较大的正离子撞击阴极表面时，将能量传递给阴极而产生电子发射现象，叫做撞击发射。

如果电场强度越大，在电场的作用下正离子的运动速度也就越快，则产生的撞击发射作用也越强烈。

实际上在焊接时，以上几种电子发射作用是同时存在、

相互促进的，但在不同条件下，它们所起的作用稍有差异。例如，在引弧过程中，热发射、电场发射起着主要作用；电弧正常燃烧时，采用熔点较高的材料（钨或碳等）作阴极，热发射作用较显著；若用铜或铝等材料作阴极时，撞击发射和电场发射起着主要作用；而用钢作阴极时，则热发射、电场发射、撞击发射三者都起作用。

综上所述，气体电离、阴极电子发射是电弧产生和维持不可缺少的两个重要条件。

二、焊接电弧的特点

1. 焊接电弧的构造及温度分布 焊接电弧由阴极区、阳极区、弧柱三部分构成，如图1-2所示。

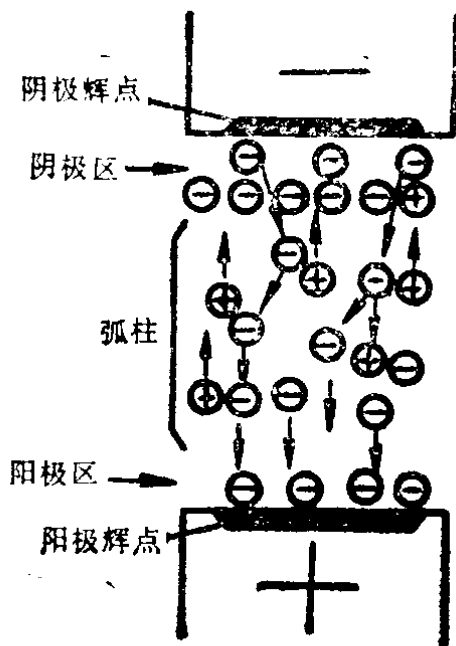


图1-2 焊接电弧的构造

电弧焊是利用电弧的热能来连接金属，由于各区域的电过程不同，各区域所放出的能量及温度分布也不相同。

(1) 阴极区 电弧紧靠负电极的区域称为阴极区。阴极区很窄，约为 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 厘米。在阴极区的阴极表面有一个明显的光亮的斑点，它是电弧放射时，负电极表面上集中发射电子的微小区域，称为阴极斑点。

阴极区的温度一般高达2400~3500 K，放出的热量占36%左右。

阴极温度的高低主要取决于阴极的电极材料，阴极的温度一般都低于阴极金属材料的沸点。阴极区温度见表1-3。

表1-3 阴极区和阳极区的温度

电极材料	材料沸点(K)	阴极区温度(K)	阳极区温度(K)
碳	4640	3500	4100
铁	3271	2400	2600
铜	2580	2200	2450
镍	3173	2370	2450
钨	6200	3000	4250

注： 1.电弧中气体介质为空气；
2.阴极和阳极为同种材料。

(2) 阳极区 电弧紧靠正电极的区域称为阳极区。阳极区较阴极区宽，约为 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 厘米。在阳极区的阳极表面也有光亮的斑点，它是电弧放电时，正电极表面上集中接收电子的微小区域，称为阳极斑点。

阳极不发射电子，消耗能量少，在与阴极材料相同时，阳极区的温度高于阴极区，一般可达2600~4200 K，放出热量占43%左右。

在实践中还发现，用不同的工艺方法焊接时，阴极区和阳极区的温度高低有不同，见表1-4。

(3) 弧柱 电弧阴极区和阳极区之间的部分称为弧

表1-4 各种焊接工艺方法的阴极与阳极温度比较

工艺方法	一般手工电弧焊	钨极氩弧焊	熔化极氩弧焊	CO ₂ 气体保护焊	埋弧自动焊
温度比较	阳极温度 > 阴极温度		阴极温度 > 阳极温度		

柱。由于阴极区和阳极区都很窄，因此弧柱的长度基本上等于电弧的长度。

弧柱中的电过程比较复杂，而它的温度不受材料沸点的限制，弧柱的中心温度可达到6000~8000 K，放出的热量占21%左右（手工电弧焊）。弧柱的温度与弧柱中心气体的介质和焊接电流大小等因素有关，焊接电流越大，弧柱中电离程度越高，弧柱温度也越高，见图1-3所示。

以上讲的是直流电弧的热量和分布情况，而交流电弧由于电源的极性是周期性地改变（50周/秒）两个电极区的温度趋于一致。

2. 电弧的静特性 在电极材料、气体介质和弧长一定的情况下，电弧稳定燃烧时，焊接电流与焊接电压变化的关系，称为电弧静特性，一般也称伏—安特性。表示它们关系的曲线叫做电弧的静特性曲线，见图1-4。

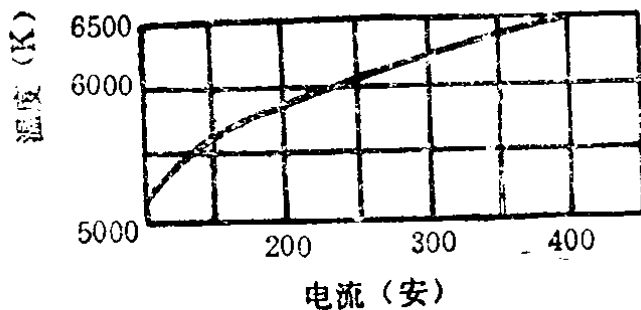


图1-3 弧柱温度与焊接电流的关系

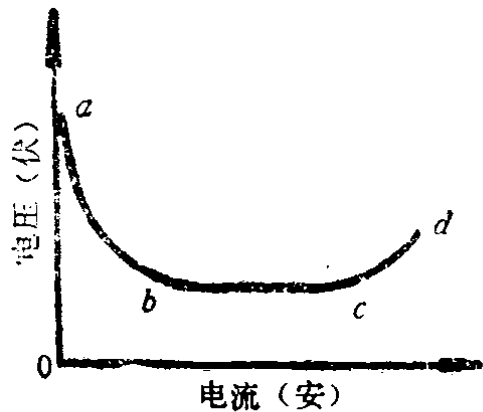


图1-4 电弧的静特性曲线

从图中可知，电弧的静特性曲线呈U形，它有三个不同的区域：当电流较小时，电弧的静特性是属下降特性区，即随着电流的增加而电压减小（ab区）；当电流稍大时，电弧

的静特性呈平特性区，即电流大小在变化，电压几乎不变（bc区）；当电流较大时，电弧静特性呈上升特性区，即电压随电流的增加而升高（cd区）。

3. 弧偏吹 正常焊接时，电弧的中心轴线总是保持着沿焊条电极的轴线方向。当受到外力作用时，会产生摆动。这些外力是：气流的干扰、磁场的作用、焊条偏心等。使电弧中心偏离电极轴线，这种现象称为电弧偏吹。

弧偏吹会引起电弧强烈的摆动，甚至发生熄弧，不仅使焊接过程发生困难，而且还影响了焊缝成形和焊接质量。因此，必须找出引起弧偏吹的主要原因。

(1) 焊条的偏心度过大 焊条的偏心度是指焊条药皮沿焊芯直径方向偏心的程度，如图1-5所示。焊条偏心度过大的原因，主要是焊条的质量问题。在焊条生产中，对焊条的偏心度有一定的限制，一般规定偏心度不超过3%。偏心度计算公式如下（公式符号见图1-6）：

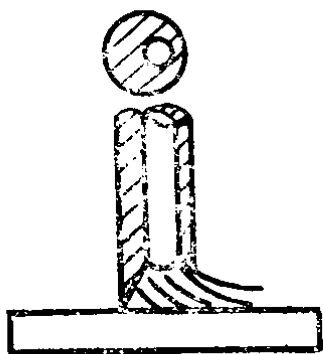


图1-5 偏心度过大的焊条

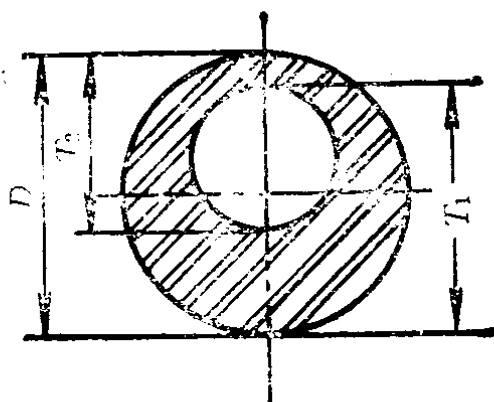


图1-6 焊条偏心度

$$\text{偏心度} = \frac{T_1 - T_2}{D} \times 100\%$$

(2) 电弧周围气流的干扰 电弧周围气体的流动会把

电弧吹向一侧造成偏吹。大气中的气流、热对流都会引起电弧周围气体的剧烈流动。

(3) 磁偏吹 使用直流电动机时,由于直流电所产生的磁场在电弧周围分布不均匀,引起电弧偏吹现象,称为电弧的磁偏吹。

产生磁偏吹的原因有:

1) 接地线位置不正确 由于接地线的位置不正确,使电弧周围的磁场分布不均匀,造成了偏吹,如图1—7所示。磁偏吹的方向与电源的极性无关,与焊件上的接地点位置有关。

2) 铁磁物质 由于铁磁物质(钢板、铁块等)的导磁能力远远大于空气,当焊接电弧周围有铁磁物质存在时,在靠近铁磁体一侧的磁力线大部分都通过铁磁体形成封闭曲线,使电弧同铁磁体之间的磁力线变得稀疏,而电弧另一侧显得密集,电弧就向铁磁体一侧偏吹,如图1—8所示。

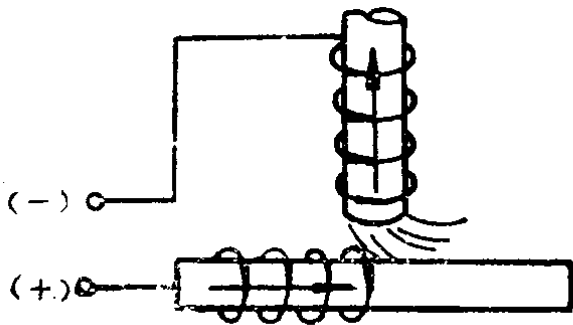


图1-7 接地线位置不正确引起的电弧偏吹

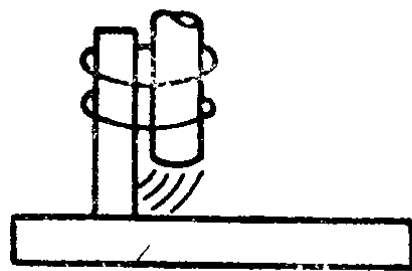


图1-8 铁磁物质对电弧偏吹的影响

3) 焊条与焊件的相对位置不对称 经验告诉我们,开始施焊时经常发生偏吹,而当逐渐靠近焊件的中心时,则电弧的偏吹就会减少或没有。在焊接收尾时也会产生偏吹。这

是因为开始施焊与焊缝收尾，焊条与焊件所处的位置不对称，造成电弧周围的磁场分布不均匀，由于外加热对流的作用，就产生了电弧偏吹。

焊接电弧的磁偏吹与焊接电流有关，电流越大，磁偏吹越严重。

三、各种焊接方法的电弧静特性曲线

不同的电弧焊方法，在一定的条件下，其静特性只是静特性曲线的某一个区域。

1.手工电弧焊 由于使用的电流受到一定的限制（其设备的额定电流值不大于500安），其静特性曲线无上升特性区。在小电流密度焊接时，为下降特性区；采用大电流密度焊接时，则为平特性区。

2.埋弧自动焊 在正常电流下焊接时，其静性为平特性区；采用大电流密度焊接时，为上升特性区。

3.钨极氩弧焊 一般在小电流区间焊接为下降特性区；大电流区间焊接时，为平特性区。

4.细丝熔化极气体保护焊 由于电流密度较大，所以其静特性曲线为上升特性区。

由此可见，不同的电弧焊方法，其静特性曲线是不同的。

§1-2 熔滴过渡

一、熔滴过渡

电弧焊时，在焊条（或焊丝）端部形成的和向熔池过渡的液态金属滴，称为熔滴。融化了的金属熔滴通过电弧的空间向熔池转移的这个过程，称为熔滴过渡。

熔滴的过渡过程是相当复杂的，这是由于电弧对焊条金属的加热，熔化的速度相当快。以手工电弧焊为例，一根直径4毫米、长450毫米的焊条仅需1.5~2分钟就可以熔化完毕。因此，熔滴过渡并非目力所能观察得到的。按不同的工艺条件(如电流强度、电流种类和极性、焊条的牌号及焊芯的含碳量等)，焊条金属每秒钟过渡到熔池中的熔滴数为5~40滴。

熔滴的过渡对焊接过程的稳定性、焊缝成形、飞溅、焊接接头的质量都有很大的影响，了解熔滴过渡的知识对掌握电弧焊工艺是很重要的。

二、熔滴过渡的作用力

影响熔滴向熔池过渡的力有哪些呢？

1. 熔滴的重力 任何物体都会因本身的重力而具有下垂的倾向，熔滴也不例外。平焊时，金属熔滴的重力起促进熔滴过渡的作用，但立焊、仰焊时，熔滴的重力就阻碍了熔滴向熔池过渡，成为反向的力。

2. 表面张力 金属熔滴象其它液体一样具有表面张力，即液体在没有外力的作用时，其表面积会尽量减小，缩成圆形。对液体金属来说，表面张力使熔滴成为球形。

焊条金属熔化后，熔滴没有马上掉下来，而是在表面张力作用下形成球形滴悬挂在焊条末端。随着焊条的不断熔化，熔滴的体积在不断增大，直到作用在熔滴上的作用力超过熔滴与焊芯界面间的张力时，熔滴才脱离焊芯过渡到熔池中去。

表面张力对平焊时的熔滴过渡不利，对仰焊等其它位置的焊接却有利。

表面张力的大小与多种因素有关。如焊条直径越大，焊条末端熔滴的表面张力也越大；熔滴温度越高，其表面张力越小；在气体保护焊中加入氧化性气体（Ar—O₂、Ar—CO₂），可以显著降低液体金属的表面张力，有利于形成细颗粒熔滴向熔池过渡。

3.电磁力 使两根通电导体相互作用的力称为电磁力，即两根平行的载流导体，若它们通过的电流方向相同，则这两根导体彼此相吸，方向是从外向内，如图1-9所示。

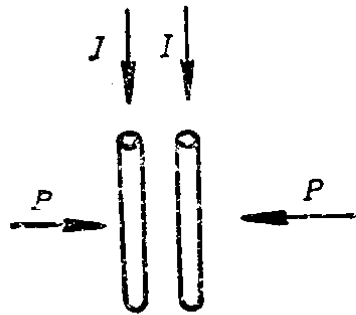


图1-9 通有同方向电流的两根导线的相互作用力

电磁力的大小与两根导体上的电流的乘积成正比，即通过导体的电流越大，电磁力也越大。

焊接时，我们可以把带电的焊丝及熔滴看做是相互平行的载流导体。根据电磁效应原理，焊丝及熔滴上同样受到有四周向中心的径向收缩力（即电磁压缩力）。电磁压缩力使焊条的横截面具有缩小的倾向。电磁压缩力对焊条的固体部分不起作用，但对熔滴来说却有促使熔滴很快形成的作用。在球形的熔滴上，电磁力垂直地作用在表面上，电流密度最大的地方是熔滴的细颈部分，也是电磁力作用最大的地方。因此，随着颈部逐渐变细，电流密度增大，电磁压缩力也随之增强，促进熔滴尽快脱离焊条向熔池过渡。这样就保证了熔滴在任何空间位置都能顺利地过渡到熔池。

在电流大、小不同的情况下，电磁压缩力对熔滴过渡的影响是不同的。焊接电流较小时，电磁压缩力很小；焊接电