

钢轧辊自动埋弧堆焊



冶金工业出版社

内 容 提 要

轧辊是轧钢生产中的关键备件。采用堆焊工艺修复轧辊不仅延长轧辊的使用寿命,而且经济效益显著提高。

本书详尽介绍钢轧辊合金钢自动埋弧堆焊的工艺和设备。全书包括:堆焊基础知识、堆焊过程的自动化原理及方法、堆焊层金属渗合金、轧辊自动堆焊设备、堆焊材料、堆焊工艺、堆焊过程中易产生的缺陷及防止方法、堆焊层金属的化学分析。

本书可供冶金企业各轧钢厂轧辊车间技术人员及工人使用,也可供各机械部门修复其他备件的人员参考。

钢轧辊自动埋弧堆焊

上海第八钢铁厂 编著

责任编辑:葛志祺

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 5 1/8 字数 134 千字

1986年5月第一版 1986年5月第一次印刷

印数00,001~2,100册

统一书号: 15062·4318 定价1.30元

前 言

轧辊是轧钢生产中的关键备件。不仅其消耗量大、费用昂贵，而且轧辊材质的好坏往往直接影响轧钢机的作业率、轧制产品的产量和质量、单位轧辊的消耗及轧材的成本。因此，如何提高轧辊的使用寿命，是轧钢生产中提高生产效率，实行增产节约，降低消耗的措施之一。目前，国内外都在大力研究复合铸钢、离心浇铸及堆焊轧辊等工艺，其目的就是想制造一种新型的复合轧辊，使轧辊基体和工作表面分别满足于轧制时的抗冲击性、耐冷热疲劳性、抗热裂性及高温耐磨性等性能的要求。

近几年来，我们冶金系统的许多单位都成功地运用堆焊的方法来制造新型的热轧复合轧辊或修复废旧轧辊。例如，鞍钢初轧机的大型轧辊，在采用合金钢自动埋弧堆焊后，轧辊使用寿命提高了一倍以上；太原钢铁公司用电渣堆焊的方法制造成新的复合轧辊；我们厂自1964年以来，一直坚持用合金钢自动埋弧堆焊的方法堆焊中小型的型钢开坯辊；其他许多单位也运用堆焊的方法，不仅使轧辊的使用寿命比原来有所提高，而且还实现了废辊再生，解决了轧辊供不应求的困难。

从许多单位的堆焊轧辊的使用情况来看，经济效果是非常明显的。如我厂中小型型钢车间的K₄机架的轧辊尺寸为 $\phi 310 \times 600$ ，原来材质为55Mn，在采用合金钢自动埋弧堆焊后，其使用情况和经济效果如下：

1) 一副K₄机架轧辊，其铸造成本约为1300元，现将报废轧辊用3Cr2W8V焊丝堆焊后，成本约为400元，就能使其恢复到原来的使用尺寸。不但废品再生，而且比一副新轧辊的成本节约900元。

2) 未堆焊的K₄机架轧辊，每次轧制产量约为500吨，因磨损需将轧辊再车削。一副新辊车削三次后，因直径太小不能使用

而报废。所以，一副新轧辊总的轧制产量约为1500吨。采用钢轧辊合金钢自动埋弧堆焊后，轧辊表面工作层的耐磨性能提高，一次轧制量就能达到2500吨左右，比原来的一次轧制量提高了四倍，并能多次堆焊。

3) 在K。机架轧辊堆焊后，不仅能提高轧机产量约五倍，而且能减少四次调换轧辊的时间，使轧钢机的有效作业率及平均机时产量提高。

又如该车间原K。机架的 $\phi 360$ 轧辊，过去每年平均需添新辊96根，需浇铸钢水约105吨，合计成本72000元。现在用合金钢埋弧自动堆焊轧辊后，已基本上做到每年不添新辊（因断辊而补充的新辊例外），为国家节约了大量的钢材、人力和物力。

除了用在轧辊修复或制造新辊以外，对于冶金工业或其他工业的各种机械设备来说，也能应用合金钢的自动堆焊的方法修复易损零部件或制造新的复合零部件。

为了使合金钢的自动堆焊技术在社会主义建设中发挥更大的作用，我们编写了这本书。全书由李志芳同志负责执笔。由于我们水平有限，书中难免有不当之处，希望广大读者批评指正。

编者

目 录

第一章 电弧基础知识	1
第一节 电弧	1
第二节 电弧的静特性	3
第三节 电弧的构造、温度和热量分布	5
第四节 电弧的极性	7
第二章 轧辊堆焊过程的自动化原理及方法	10
第一节 堆焊过程的自动化概念	10
第二节 焊丝的给送方法	12
第三节 堆焊电弧的自动调整	15
第四节 自动埋弧堆焊方法的实质	17
第三章 堆焊层金属的渗合金	20
第一节 堆焊层金属渗合金的目的和方法	20
第二节 常用合金剂的特性	24
第四章 钢轧辊自动堆焊设备	31
第一节 轧辊堆焊前的预热设备	31
第二节 轧辊自动堆焊的机床	40
第三节 轧辊自动堆焊机	45
第四节 焊剂回收装置	68
第五节 焊丝除锈设备	70
第五章 堆焊材料	73
第一节 焊剂	73
第二节 焊丝	79
第三节 焊剂与焊丝的选择	89
第六章 钢轧辊自动堆焊工艺及技术	94
第一节 钢轧辊自动堆焊的规范	94
第二节 钢轧辊自动堆焊时的热过程及内应力	112
第三节 钢轧辊自动埋弧堆焊工艺	117
第四节 合金钢自动埋弧堆焊实例	136

第七章	堆焊过程中容易产生的缺陷及其防止方法 ·····	143
第一节	气孔与砂眼产生的原因及防止方法 ·····	143
第二节	裂缝产生的原因及其防止方法 ·····	147
第三节	夹渣产生的原因及其防止方法 ·····	149
第四节	焊瘤产生的原因及其防止方法 ·····	152
第五节	剥落（或称脱落）产生的原因及其防止方法 ·····	154
第八章	堆焊层金属的化学分析 ·····	155

第一章 电弧基础知识

第一节 电 弧

在两电极的气体介质中，持久的放电现象称为电弧。例如，在城市里，我们可以看到无轨电车在行驶时，上面的电线经常会产生火花，这就是电弧。

电弧是气体放电的一种形式。所谓气体放电，是指当两电极之间存有一定的电位差时，电流从一个电极穿过两电极间的气体介质，通到另一个电极去的现象，如图1-1所示。

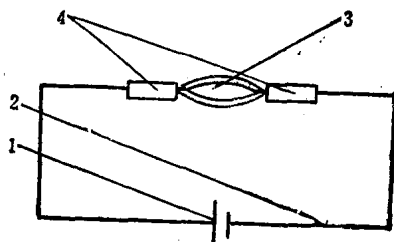


图 1-1 电弧放电的简图

1—电源，2—导线，3—电弧，4—电极

根据物理学的知识可知，气体放电有暗放电、辉光放电及电弧放电三种形式。在这三种放电现象中，电弧放电具有三个特点：

第一个特点是：维持放电的电压比较小。电弧放电与辉光放电相比，其电压要低10倍左右。

第二个特点是：电流密度很大。

第三个特点是：电弧具有很高的温度（电弧的空间温度约5000~8000K）和强烈的白光。

根据这三个特点，在工业上利用电弧放电原理形成电弧焊。

那末，在堆焊（或焊接）中，电弧是怎样产生的呢？要了解这一问题，应首先了解气体电离的基本概念。我们知道，所有的物质都是由原子组成的。而原子又是由带正电荷的原子核和带负电荷的电子所组成。在平常的情况下，原子核所带的正电荷数和电子所带的负电荷数是相等的，所以原子就呈现出不带任何电荷。但当两者不相等时，就会使原子带正电荷或带负电荷。如果原子带负电荷的电子数，少于原子核所带的正电荷数，那末，这时原子就带有正电荷。带正电荷的原子称为阳离子。相反，原子内带负电荷的电子数，多于原子核所带的正电荷数，这时原子就带有负电荷。带负电荷的原子称之为阴离子。在一般情况下，空气是不导电的。当空气受热或受电场的作用时，空气就会变成导体，人们称这个过程为空气游离化。经过游离过程，空气中就有了阳离子、阴离子和自由电子。

电弧是这样产生的。先将两电极互相接触构成短路，由于接触电阻和短路电流产生电流热效应的结果，两电极之间的接触点达到白热状态，然后将两电极迅速拉开，这时两电极间的空气因为受到强烈地加热，形成了空气游离化。与此同时，阴极上有高速度的电子飞出，撞击空气中的分子和原子，将其中的电子打击

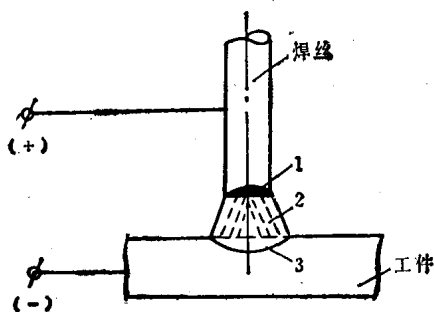


图 1-2 电弧的组成

1—阳极部分；2—弧柱；3—阴极部分

注：阴极部分——位于阴极；

弧柱部分——其长度差不多等于电弧的长度；

阳极部分——位于阳极

出来，产生了离子和自由电子。在电场的作用下，阳离子向阴极碰撞，阴离子和自由电子向阳极碰撞，这样碰撞的结果，在两电极之间产生了高热，同时放射出强光，这就形成了电弧。这也就是我们平时所说的焊接电弧。

电弧是由三部分组成的，如图1-2所示。

在日常的电弧焊中，一般可以分为手工电弧焊和自动电弧焊两种。而自动电弧焊又分为明弧自动电弧焊及熔剂层下（埋弧）自动电弧焊（简称为埋弧焊）两种。在钢轧辊的自动堆焊中，我们根据生产率的高低、电能的消耗，以及劳动强度和环境卫生条件等因素，选择了埋弧自动焊作为主要的堆焊方法。

第二节 电弧的静特性

在自动埋弧堆焊中，当堆焊电流和电弧电压在特定的时间中不改变（或改变范围极小）自己的数值时，我们称之为在稳定状态下工作。所以，在堆焊过程中，当电弧长度一定时，电弧燃烧在稳定状态时的电弧电压与堆焊（焊接）电流之间的关系叫作电弧的静特性。表示它们之间的关系曲线就叫作电弧的静特性曲线，如图1-3所示。

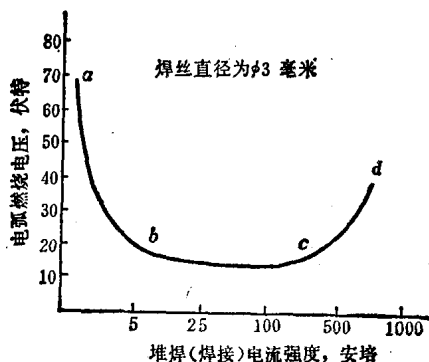


图 1-3 电弧的静特性曲线

为了使电弧连续而稳定地燃烧，必须在两电极之间保持一定的电压。电弧引燃后，气体电离，电流增大，两电极间维持电弧

所需的电压即电弧电压降低。

图1-3所示的电弧静特性曲线呈U形，所以又称为U形特性曲线。曲线 ab 段是在电流很小的情况下产生的。在这一段曲线中，当电流增大时，电弧的温度就会升高，其结果使气体电离和阴极电子放射增强，这时维持电弧所需的电弧电压随着电流的增大而降低。

在正常的电弧堆焊的条件下（手工堆焊时，电流通常在几十安培到二、三百安培之间；埋弧自动堆焊时，电流为300~700安培之间），电弧静特性如图1-3中的 bc 段，即增加电流仅仅是对焊条（焊丝）的加热和增加熔化程度，并使焊条（焊丝）辉点的面积随着电流的增加而增大，而对电弧电压的影响却是极小的。

当堆焊（焊接）电流从曲线 c 点继续增加时，如焊条（焊丝）直径仍然不变（即电流密度很大时），则电极区（阴极或阳极）电流密度过大，电极辉点受电极端面的限制（当焊丝或焊条直径一定时，电极辉点的面积最多只能等于焊丝或焊条的端面面积），而相对地比正常状态时有所压缩，电极区（阴极或阳极区）的电压降增大，于是两电极间维持电弧所需要的电弧电压反而升高（见图1-3 cd 段）。这种情况只有在采用小电极直径，大堆焊电流时才有可能出现。

图1-3中 ab 段的静特性，由于电流小，电弧不稳定，所以在实际生产中很少应用，而应用最广的是 bc 段的静特性。目前，由于各种新的焊接方法的不断出现，采用大的焊接电流的情况越来越多，因此 cd 段上升的静特性曲线也开始越来越多地受到了重视。

图1-4是不同弧长时的电弧静特性曲线。由此看出，当电弧长度一定时，堆焊（焊接）电流越小，则电弧的燃烧电压就越高。当电流强度大于30~50安培时，电弧的燃烧电压与电流的大小无关，而主要是与电弧的长度有关。电弧越长，需要的燃烧电压越高；电弧越短，则燃烧电压就越低。

为了使焊条（焊丝）能够在工件之间稳定地燃烧，必须要有一定数值空载电压。实践证明，当用交流电进行堆焊时，交流变

压器的空载电压应不低于70伏；当用直流电堆焊时，其直流电源的空载电压应不低于65伏。

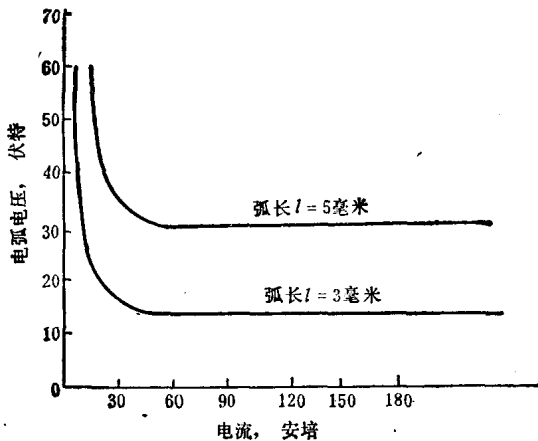


图 1-4 不同弧长时的电弧静特性曲线

然而，在合金焊丝的自动堆焊中，因为工厂的电路经常发现网络电压的显著波动而引起堆焊时电弧燃烧的不稳定，所以在合金焊丝自动堆焊时，应尽量采用直流发电机或硅整流弧焊机。

第三节 电弧的构造、温度和热量分布

堆焊（焊接）电弧可以分成三个区域，即阴极区、阳极区和弧柱。在阴极区的阴极表面上，有一个明亮部分，称之为阴极辉点；同样，在阳极区的阳极表面上也有一个明亮的部分，称之为阳极辉点（图1-5）。

阴极区是电弧最重要的区域。电子就是从阴极辉点放射出来的。这个区域的尺寸很小，它的厚度只有万分之一毫米左右。从阴极辉点里放射出来的电子受阳极吸引，很快地就离开阴极而向阳极移动。电弧中被电离的微粒阳离子也受阴极的吸引而向阴极移动。但是，由于阳离子的质量比电子大，运动的速度较低，所以在阴极表面每一瞬间的阳离子浓度都比电子大得多，这样就使得阴极表面附近所有阳离子的正电荷总和大大超过所有电子的负

电荷总和，因而造成阴极表面附近的电荷呈正电性。也就是说阴极表面到阳离子密集的地方，形成了较大的电位差。这部分的电位差，在图1-5中称为阴极电压降落。

当阳离子飞向阴极时，由于它对阴极的撞击，和阳离子与阴极放射出来的电子结合成为中性粒子，这时要放出能量，这些能量都传给阴极，使阴极的温度升高。但是，因为阴极放射电子要消耗一定的能量，以及阴极材料本身的熔化、蒸发都要吸收很多热量，所以阴极的温度一般都低于阴极材料的沸点，如表 1-1 所示。

阳极区与阴极区形成原因相似。阳极辉点就是由于电子对阳极表面撞击而形成的。但是电子的质量很小，运动速度较快，所以在阳极表面聚集的浓度相对就变得很小了，而阳极区的厚度与阴极区的厚度其大小相近，因而阳极的电压降落通常就低于阴极区的电压降落值，见表1-1。

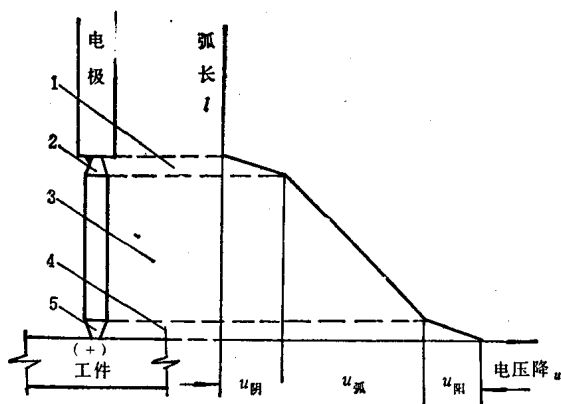


图 1-5 电弧中电压降落的分布

1—阴极区；2—阴极辉点；3—弧柱；4—阳极区；5—阳极辉点；

$u_{阴}$ —阴极电压降落； $u_{弧}$ —弧柱电压降落； $u_{阳}$ —阳极电压降落

阴极区和阳极区温度与电压降

表 1-1

电极材料	材料沸点	阴 极 区		阳 极 区	
		温度, K	电压降, 伏	温度, K	电压降, 伏
铁	2880	2400	8~12	2600	2~4
钢	2595	2200	12~13	2450	10~11
镍	3080	2300		2450	
钨	6000	7300		7224	

注：电弧中的气体为空气。

在通常的情况下，阳极和阴极比较，因为阳极电子不放射能量，而且电子运动速度很大，所以对阳极撞击时传给阳极的能量也比较大，因此，阳极所获得的能量略多于阴极。当阳极和阴极的材料相同时，阳极辉点的温度略高于阴极辉点。

弧柱主要是电子和阳离子的混合物，也有一些阴离子和中性微粒。如果弧柱中阴离子较多，则一个阴离子与一个阳离子结合形成两个中性微粒，其结果就减少了弧柱中阳离子的浓度，这就影响到电弧燃烧的稳定性。总之，在弧柱中所进行的过程是比较复杂的，各种微粒不断发生复合和电离，反应非常激烈。由于阴极区和阳极区的厚度都很小，因此弧柱的长度基本上就是电弧的长度，弧柱的电压降的大小则与弧长成正比，一般约为20~40伏特/厘米。

弧柱的温度由于不受电极材料沸点的限制，因此，弧柱温度通常较高于阴极辉点和阳极辉点的温度，可达4000~8000 K左右。而在一般情况下，堆焊电流越大，则弧柱中电离程度也越高，弧柱的温度也越高。

第四节 电弧的极性

当用电弧堆焊时，可以用交流电，也可以用直流电。当用交流电堆焊时，要有焊接变压器供给堆焊电流；当用直流电堆焊时，要有直流发电机或硅整流焊机供给堆焊电流。

当用直流电堆焊时，在直流电焊机（指直流发电机或硅整流焊机）上接有两极电缆时，一根接在工件上，另一根接在焊丝或焊条上。在接线时应该考虑：哪一根电缆线接在哪一个极上。因为直流焊机有着两个固定的电极，即正极和负极。当直流焊机的正极与堆焊工件相接，负极与焊丝（或焊条）相接时，这种接法称为直流正接法，如图1-6 a 所示；当直流电焊机的负极与堆焊工件相接，正极与焊丝（或焊条）相接时，这种接法就称为直流反接法，如图1-6 b 所示。

由上可知，阳极辉点的温度要比阴极辉点的温度高，所以在用直流电堆焊时，用正接法还是反接法，就要看堆焊工件与焊丝哪一方面需要的热量高。如果堆焊工件需要热量高，就选用正接法；反之，则选用反接法。一般来说，在堆焊过程中，希望堆焊工件熔透得浅一些，所以多采用直流反接法。

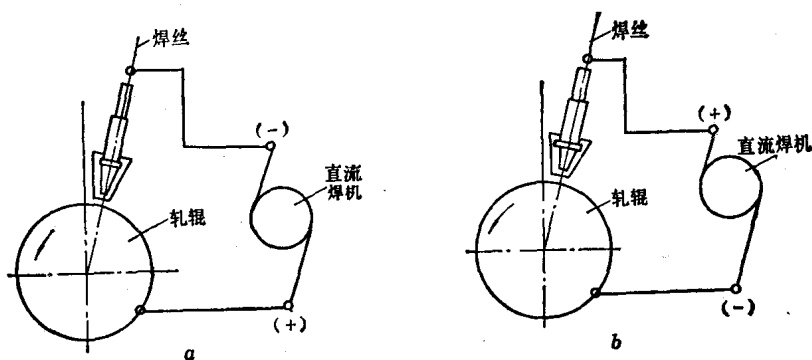


图 1-6 直流电堆焊时的极性连接法

a—直流正接法；b—直流反接法

如果采用交流电堆焊，焊接变压器的两个电极的极性时刻在变化（每秒钟变化五十次），所以就没有考虑极性的必要了。焊丝（或焊条）与堆焊工件可以任意和焊接变压器的两个电极相连接。

在采用直流电堆焊时，应选择极性，首先应知道哪一个是正

极，哪一个是负极。对于新的或有明显的“正”“负”极标志的直流焊机，选择极性必然不存在问题，而对于没有明显标志或标志模糊不清的直流电焊机，则可用下列几种方法进行鉴别。

1) 采用电压表鉴别法。将直流焊机的两个电极（通常称为桩头），用导线分别连接在电压表的正极与负极上。若直流焊机的正极连接在电压表的负极上，则电压表的指针就向相反的方向转动，由此可以断定出这一个极是正极，而另一个极是负极。

2) 采用盐水鉴别法。将直流电焊机的两个电极分别用导线连接，然后浸入盐水中，这时的盐水就变成电解盐水溶液。根据电解原理，正极上产生氯气，气泡较少，负极上产生氢气，气泡较多。由此可以断定，产生气泡较少的是正极，产生气泡较多的是负极。

3) 以上两种方法在实际的应用中还有许多不方便的地方，所以在实际应用中往往采用一种更简便的方法来鉴别极性。这就是用一根已经知道规定使用极性的焊条来试焊。若在试焊过程中电弧燃烧不稳定，产生断弧等现象时，就说明使用的极性与焊条规定的使用极性不相符，这样就可以断定出直流焊机的极性。

第二章 轧辊堆焊过程的自动化

原理及方法

第一节 堆焊过程的自动化概念

所谓堆焊过程，实质上是指手工电弧堆焊的过程。一般来说，主要是下面四个动作，即：

1) 准备：指手工电弧堆焊时焊条与堆焊工件的接触。

2) 引燃电弧：指在手工电弧堆焊时焊条与堆焊工件接触（又称短路）后立即提起一段距离，使电弧正常而稳定地燃烧。

3) 堆焊：为了使引燃出来的电弧稳定地燃烧，必须适应焊条的熔化而不断地均匀地给送焊条，同时应使焊条沿着堆焊方向均匀地移动。

4) 结束：首先停止焊条沿着堆焊方向的移动，在原地停一会儿，待弧坑填满后再切断电弧。

因此，堆焊过程的自动化，就是指上述四个过程的自动化。目前自动电弧焊机堆焊过程自动化的意义是：

1) 为保证焊丝输送适合操作要求，焊丝应能自动输向电弧燃烧处，并使这种焊丝的输送速度均匀，不间断，同时还需要使焊丝的熔化速度随着堆焊电流的改变而改变。

实践证明：当使用的焊丝在保持化学成分不变的情况下进行堆焊时，焊丝的熔化速度将随着堆焊电流的大小而改变。

因为 $G = \alpha I t$

式中 G ——焊丝金属的熔化重量；

I ——堆焊电流；

t ——电流通过焊丝的时间；

α ——系数。

上面的公式又能写成：

$$\gamma L A = \alpha I t$$

$$L = \alpha I t / \gamma A$$

式中 γ ——焊丝金属的比重；

L ——焊丝熔化的长度；

A ——焊丝的横截面积。

根据这个公式，可得到焊丝的熔化速度为：

$$V_{\text{熔}} = \frac{L}{t} = \frac{\alpha I}{\gamma A}$$

由上式可知：当 $\alpha/\gamma A$ 保持不变的时候，则：

$$V_{\text{熔}} = KI$$

式中 K ——为 $\alpha/\gamma A$ 的合成系数。

由此可见，焊丝的熔化速度是随着堆焊电流的大小而改变的。

2) 当焊丝与堆焊工件之间已经产生了电弧时，电弧在堆焊过程中必须保持一定的长度，而使堆焊工作不至因短路或断弧现象而中途停顿。

3) 堆焊电弧能自动沿着所要的堆焊方向进行。焊剂能随着堆焊电弧的移动而自动地覆盖于电弧燃烧处。

4) 当堆焊结束时，应首先停止堆焊电弧的移动，待弧坑填满后再切断电弧。

焊剂层下的堆焊过程自动化，就是通常所说的埋弧自动堆焊。其堆焊过程的自动化，是通过焊丝的升降机构（焊机机头）和机头运行机构（自行台车）实现的。然而，对于这两部分的机构也提出了一些要求。

对机头行走机构（即自行台车）的要求比较简单，需要满足以下两点：

1) 机头的行走机构能够进行等速的直线运动；

2) 等速直线运动的方向和速度是可以任意调节的。

而对于焊丝升降机构的要求就很多了。前面讲述的堆焊过程自动化的意义，都要在焊丝升降机构（即焊机机头）中得到保证。