

焊条手工电弧焊

Flux-shielded Metal Arc Welding

- 操作者以手工操纵焊条，利用焊条与工件之间产生的电弧将焊条和工件局部加热到熔化状态，焊条端部熔化后的熔滴和熔化的母材融合一起形成熔池，随着电弧向前移动，熔池液态金属逐步冷却结晶，最终形成焊缝。



焊条手工电弧焊

Flux-shielded Metal Arc Welding

- 适用于碳钢、低合金钢、不锈钢、铜及铜合金等金属材料的焊接，以及铸铁焊补和各种金属材料的堆焊。
- 对于钛、铌、锆等活泼金属和钽、钼等难熔金属，由于保护效果不够好，焊接质量难于达到要求，不能采用手弧焊。
- 对于锡、铅、锌等低熔点金属及其合金，由于电弧温度过高，也不可用手弧焊。

焊条手工电弧焊

Flux-shielded Metal Arc Welding

手弧焊设备包括弧焊电源、焊接电缆、焊钳、面罩、敲渣锤、钢丝刷、焊条保温桶等。

弧焊电源通常采用下降外特性，额定电流在500A以下。

- 对于（型号E5015牌号J507）低氢钠型结构钢焊条，必须采用直流弧焊电源，以保证电弧稳定燃烧。对于（型号E4303牌号J422）酸性结构钢焊条，交流和直流弧焊电源均能使用。
- 需要根据被焊工件所需的焊接电流范围和实际负载持续率来选择焊机容量。

焊条手工电弧焊

Flux-shielded Metal Arc Welding

- 焊条由焊芯和涂层组成。
- 焊芯采用焊接专用金属丝，如碳钢焊条焊芯常用牌号为 H08A 的焊丝。在焊接过程中，它既是电极，又是填充金属。
- 涂层（药皮）是矿石粉末、铁合金粉、有机物和化工制品等原料按一定比例配制后压涂在焊芯表面上的。



焊条手工电弧焊

Flux-shielded Metal Arc Welding

涂层（药皮）的作用在于：

- ①在电弧稳定性、飞溅、熔滴过渡、焊缝成形等方面，改善焊条的焊接工艺性能。
- ②涂层熔化或分解后产生气体和熔渣，防止熔滴和熔池与空气接触。熔渣凝固后形成的渣壳覆盖在焊缝表面，可防止高温的焊缝金属被氧化，并可减慢焊缝金属的冷却速度。
- ③通过熔渣和铁合金进行脱氧、去硫、去磷、去氢和渗合金等焊接冶金反应，从而使焊缝获得合适的化学成分。

焊条手工电弧焊

Flux-shielded Metal Arc Welding

选用焊条应考虑的原则：

- 根据母材金属类别选择相应同类的焊条。例如，焊接低碳钢或低合金钢时，应选用结构钢焊条。而焊接不锈钢或耐热钢时，则应选用相应型号的焊条。
- 应保证焊缝性能与母材性能相同或相近。例如，选用结构钢焊条时，首先，根据母材的抗拉强度按“等强”原则选择焊条的强度级别；其次，对于焊缝韧性和延性要求较高的重要结构，或易产生裂纹的结构（刚性大，施焊环境温度低等），应选用碱性焊条甚至超低氢焊条、高韧性焊条等。
- 焊条工艺性能要满足施焊操作的需要。例如，向下立焊、管道焊接、底层焊、盖面焊、重力焊时，可选用相应的专用焊条。

焊条手工电弧焊

Flux-shielded Metal Arc Welding

- 常用的基本接头型式有对接、搭接、角接和T形接头。接头型式的选择，主要是根据产品的结构，并综合考虑受力条件。
- 预开坡口，其目的是保证焊透并改善成形。被焊工件板厚 1~6mm 时，可采用 I 形坡口单面焊或双面焊。板厚 >3mm 时，就可以预开 Y 形、X 形、U 形坡口。坡口根部钝边的作用是避免烧穿，间隙的作用是保证焊透。

焊条手工电弧焊

Flux-shielded Metal Arc Welding

- 熔焊时被焊工件接缝所处的空间位置，有平焊、立焊、横焊、仰焊及全位置焊之分。
- 在平焊位置施焊时，熔滴可借助重力落入熔池，熔池中气体和熔渣容易浮出表面，焊缝成形容易保证，因此可以大电流高效焊接。



焊条手工电弧焊

Flux-shielded Metal Arc Welding

焊前准备：

- 烘干焊条，祛除受潮涂层中的水分，以减少熔池及焊缝中的氢，防止产生气孔和冷裂纹。
- 清除工件坡口及两侧各20mm范围内的锈、水、油污等，防止产生气孔和延迟裂纹。
- 组对工件，保证结构的形状和尺寸，预留坡口根部间隙和反变形量，然后按规定的位置进行定位焊。
- 针对刚性大的结构和可焊性差的材料，焊前对工件进行全部或局部预热，以减小接头焊后冷却速度，避免产生淬硬组织，减小焊接应力和变形，防止产生裂纹。

焊条手工电弧焊

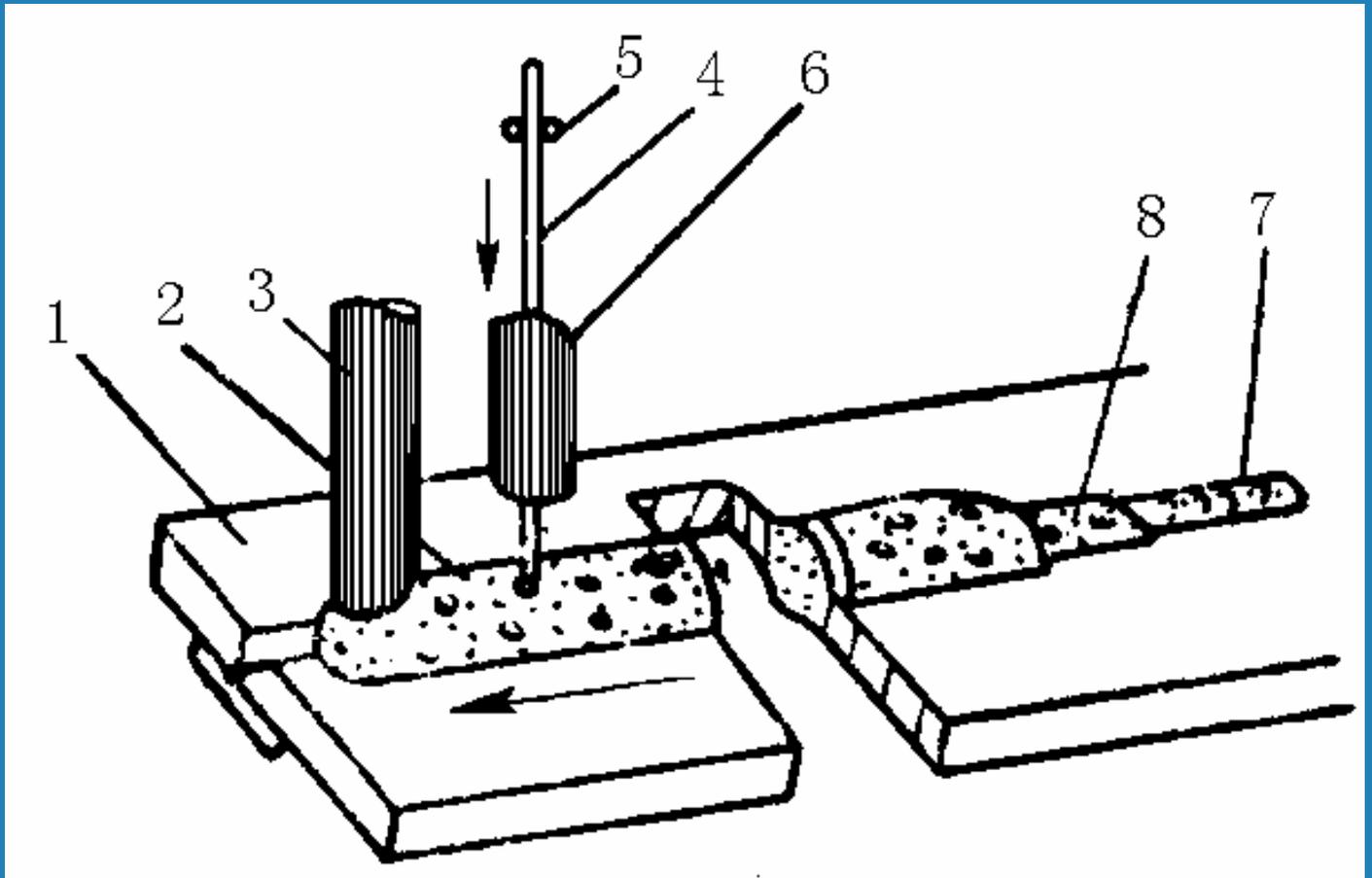
Flux-shielded Metal Arc Welding

后热和焊后热处理：

- 焊后立即对焊件全部或局部进行加热或保温使其缓冷的工艺措施，称为后热。后热的目的是避免形成硬脆组织，以及使扩散氢逸出焊缝表面，从而防止产生裂纹。
- 焊后为改善接头的显微组织和性能或消除焊接残余应力而进行的热处理，称为焊后热处理。例如，对于易产生脆断和延迟裂纹的重要结构、尺寸稳定性要求高的结构、有应力腐蚀的结构、以及厚度超过一定限度的结构，应考虑焊后进行消除应力退火。

埋弧自动焊

Submerged Arc Welding



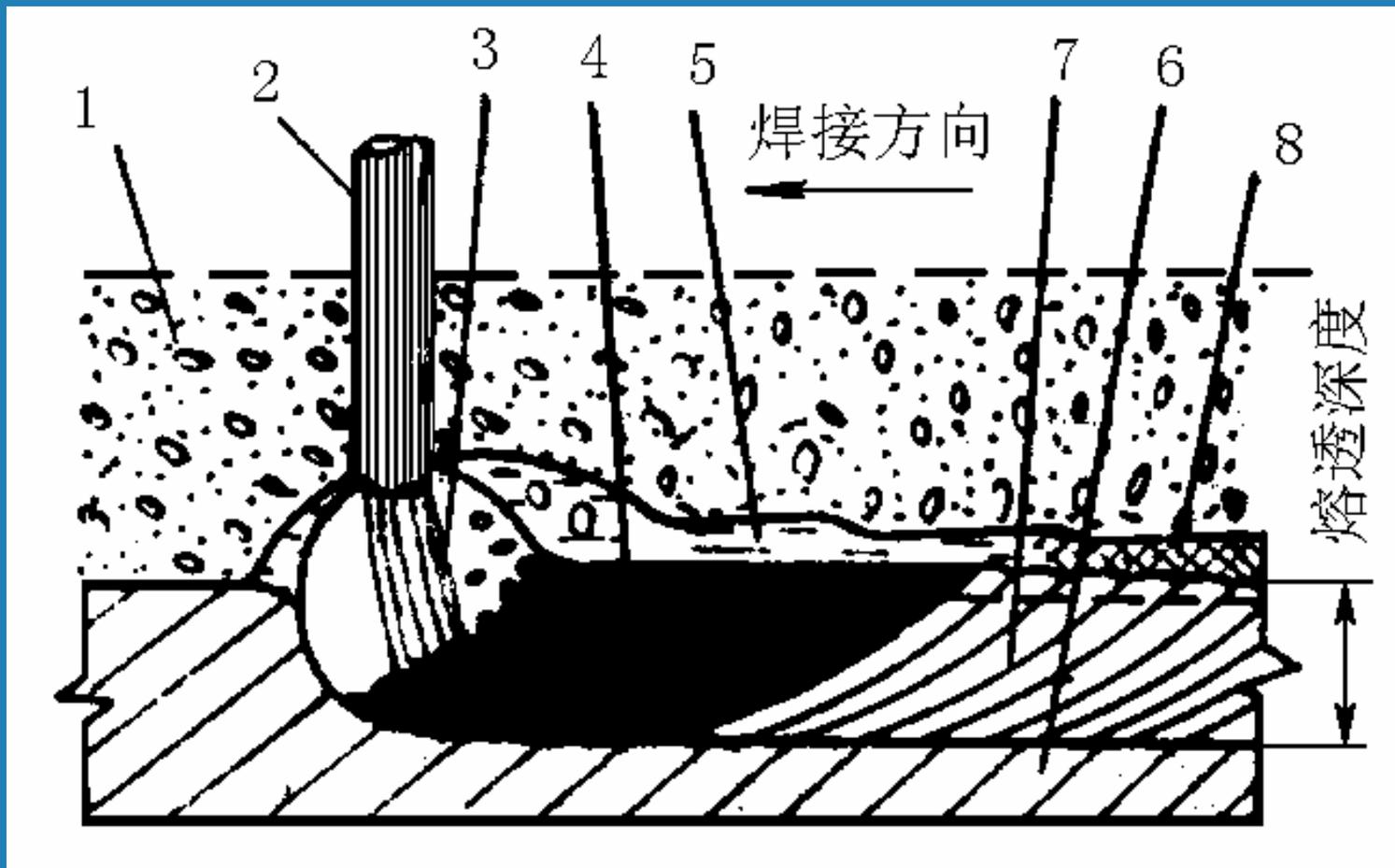
埋弧自动焊

Submerged Arc Welding

- 埋弧焊过程如图所示：焊剂2由漏斗3流出后，均匀地堆敷在装配好的焊件1上，焊丝4由送丝机构经送丝滚轮5和导电嘴6送入焊接电弧区，焊接电源输出端分别接在导电嘴和焊件上。

埋弧自动焊

Submerged Arc Welding



埋弧自动焊

Submerged Arc Welding

- 如图所示，埋弧焊的电弧是掩埋在固态颗粒状焊剂下面的。当焊丝和焊件之间引燃电弧 3 时，电弧热使焊件 6、焊丝 2 和焊剂 1 熔化以致部分蒸发；金属和焊剂的蒸发气体形成了一个气泡，电弧就在这个气泡内燃烧；气泡的上部被一层烧化了的焊剂（熔渣）5 所构成的外膜包围，这层外膜很好地隔离了空气与电弧和熔池 4 的接触，并使有碍操作的弧光不再辐射出来；8 是熔化再凝固的渣壳，7 为脱壳后的焊缝。

埋弧自动焊

Submerged Arc Welding

■ **生产效率高** 原因：

一方面焊丝导电长度较短，电流和电流密度高，因此电弧的熔深能力和焊丝熔敷效率都大大提高，一般不开坡口单面一次焊熔深可达20mm。

另一方面，由于焊剂和熔渣的隔热作用，电弧上基本没有热的辐射散失，飞溅也小，虽然用于熔化焊剂的热量损耗有所增大，但总的热效率仍然大大增加，因而使焊接速度可以大大提高，以厚度 8~10 mm 钢板对接为例，单丝埋弧焊速度可达30~50m/h，而涂料焊条手工焊则不超过6~8m/h。

埋弧自动焊

Submerged Arc Welding

- 手工电弧焊与埋弧自动焊的焊丝电流密度比较
(教材表4-12)
- 手工电弧焊与埋弧自动焊的热量平衡比较
(教材表4-13)

埋弧自动焊

Submerged Arc Welding

- **焊缝质量好** 因为：

熔渣隔绝空气的保护效果好，电弧区主要成分是CO，焊缝金属中含氮量和含氧量大大降低，

另外，焊接参数可以通过自动调节保持稳定，对焊工技艺水平要求不高。

焊缝成分稳定，机械性能比较好。

- **劳动条件好**

除了减轻手工焊操作的劳动强度外，它没有弧光辐射，这是埋弧焊的独特优点。

埋弧自动焊

Submerged Arc Welding

- 由于埋弧焊是依靠颗粒状焊剂堆积形成保护条件，因此，**主要适用于水平位置焊缝**焊接。也有采用特殊机械装置，保证焊剂堆敷在焊接区而不落下来，从而实现了埋弧横焊、立焊和仰焊，还有用磁性焊剂的埋弧横焊和仰焊。

埋弧自动焊

Submerged Arc Welding

- 由于埋弧焊焊剂的成分主要是 MnO 、 SiO_2 等金属及非金属氧化物，与焊条手弧焊一样，**难以用来焊接铝、钛**等氧化性强的金属及其合金。
- **只适于长焊缝**的焊接。由于机动灵活性差，焊接设备也比手弧焊复杂些，短焊缝显不出生产效率高的特点。
- 电弧电场强度较大，电流小于100A时，电弧的稳定性不好，因此**不适合焊接厚度小于1mm的薄板**。

埋弧自动焊

Submerged Arc Welding

- 焊剂的作用：

埋弧焊过程中，熔化的焊剂能够产生气和渣，有效地保护了电弧和熔池，防止焊缝金属的氧化、氮化和合金元素的蒸发与烧损，使焊接过程稳定。焊剂还有脱氧和渗合金的作用，与焊丝配合使用，使焊缝金属获得所需要的化学成分和机械性能。

埋弧自动焊

Submerged Arc Welding

- 对焊剂的基本要求：

保证电弧的稳定燃烧；硫、磷含量要低，对锈、油及其它杂质的敏感性要小，以保证焊缝中不产生裂纹和气孔等缺陷；焊剂要有合适的熔点，熔渣要有适当的粘度，以保证焊缝成形良好，焊后有良好的脱渣性；焊剂在焊接过程中不应析出有害气体；焊剂的吸湿性要小；并具有合适的粒度；焊剂颗粒要有足够的强度，以便焊剂多次使用。

埋弧自动焊

Submerged Arc Welding

- 焊剂的分类：

按制造方法分，埋弧焊用焊剂有熔炼焊剂和非熔炼焊剂，非熔炼焊剂又分为粘结焊剂（陶质焊剂）和烧结焊剂；按化学成分分有无锰焊剂、低锰焊剂、中锰焊剂和高锰焊剂；也有按构造分为玻璃状焊剂和浮石状焊剂；按化学特性分为酸性和碱性焊剂；按用途分为低碳钢、低合金钢和合金钢焊剂；等等。

埋弧自动焊

Submerged Arc Welding

- 埋弧焊用焊丝与手工电弧焊焊条钢芯同属一个国家标准，即焊接用钢丝。焊丝直径为1.6~6 mm。不同牌号焊丝应分类妥善保管，不能混用。焊前应对焊丝仔细清理，去除铁锈和油污等杂质，防止焊接时产生气孔等缺陷。
- 欲获得高质量的埋弧焊接头，正确选配焊剂和焊丝以及弧焊电源非常重要。 **教材表4-14。**

埋弧自动焊

Submerged Arc Welding

- 埋弧焊的冶金过程，包括液态金属、液态熔渣与各种气相之间的相互作用，以及液态熔渣与已经凝固金属之间的作用。
- 用高锰高硅焊剂焊低碳钢时，冶金特点是：向焊缝补充 Mn 和 Si；控制一部分碳氧化；减少焊缝金属中 P 和 S 的含量，防止热裂和冷裂；防止焊缝产生气孔。

埋弧自动焊

Submerged Arc Welding

- 低碳钢埋弧焊的硅锰还原反应：

提高焊缝中的含锰量，会降低产生热裂纹的危险性，并能改善焊缝的机械性能。硅能镇静熔池，并能保证取得致密的焊缝。常用的“430”和“431”是高锰高硅低氟焊剂，其主要成分为 MnO 和 SiO_2 ，它们的渣系是 MnO-SiO_2 ，焊缝金属中的硅和锰是通过液态金属与熔渣之间的硅锰还原反应获得的。



埋弧自动焊

Submerged Arc Welding

- 低碳钢埋弧焊中碳的烧损：

碳只能从焊丝及母材进入焊接熔池，焊剂是不含碳成分的。

焊丝熔滴过渡进入熔池的过程中，焊丝中的碳发生非常剧烈的氧化（ $C + O \leftrightarrow CO$ ）；在熔池内也有一部分碳氧化。提高液态金属的含硅量能抑制碳的氧化。液态金属中的锰不能抑制碳的氧化，因为在熔池温度下锰对氧的亲合力比碳对氧的亲合力小。

适当增加焊丝含碳量，则碳的烧损量增大。由于碳的剧烈氧化，熔池的搅动作用增强，使熔池中气体容易析出，这对防止焊缝产生氢气孔有作用。当然，碳和氧会生成一氧化碳也是生成气孔的因素，但是埋弧焊形成的气孔主要是氢造成的。

埋弧自动焊

Submerged Arc Welding

- 硫磷杂质的限制：

硫造成偏析形成低温共晶，是产生热裂缝的主要原因。磷会引起金属的冷脆性。所以必须限制其含量并控制它的过渡。我国生产的焊剂含S和P均限制在0.1%以内。

埋弧自动焊

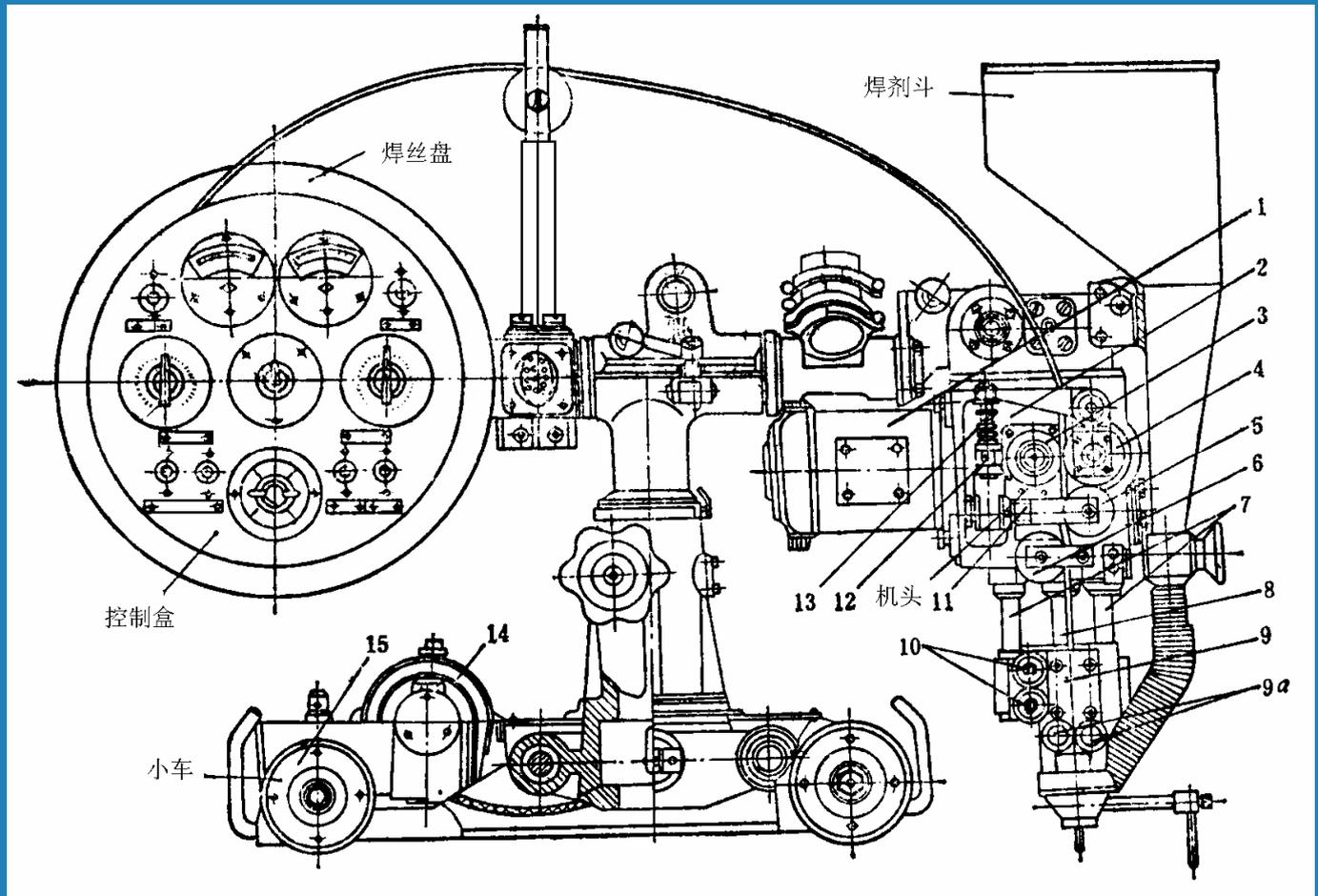
Submerged Arc Welding

- 去除熔池中氢：

高Mn高Si焊剂埋弧焊时，气孔是一个重要的问题，一般认为主要是氢气孔。防止氢气孔的途径：① 杜绝氢的来源，例如去除铁锈、水分和有机物；② 通过冶金反应把氢结合成 HF 和OH 这两种稳定而不溶于熔池的化合物。

埋弧自动焊

Submerged Arc Welding



一个生产实际中的问题分析： 小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

■ 实验一

钢管规格： $\phi 219 \times 6$ mm，Q235B

焊接材料：焊丝H08A $\phi 4.0$ mm，焊剂SJ101G

弧焊电源：成焊ZD5-1250，直流反接

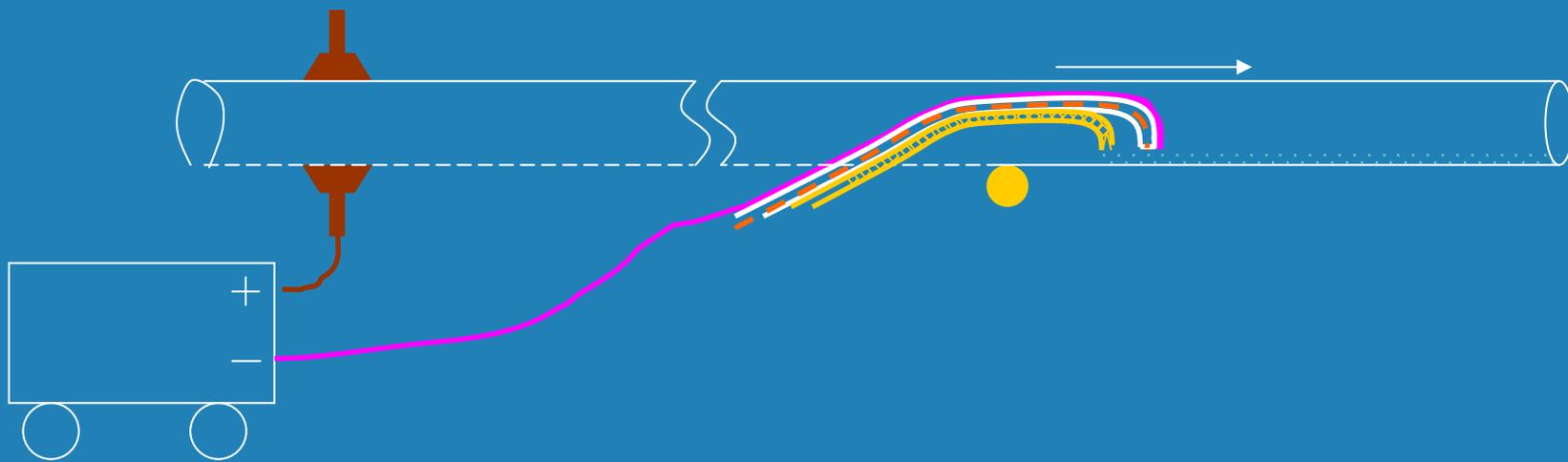
负极接管尾，正极电缆沿内探臂接焊枪

规范参数： $v = 1.15$ m/min， $I = 400$ A， $U = 33-36$ V

例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

■ 实验一

实验结果：内焊缝表面有大颗粒状连续气孔，截面呈柱状，贯穿整个内焊缝。

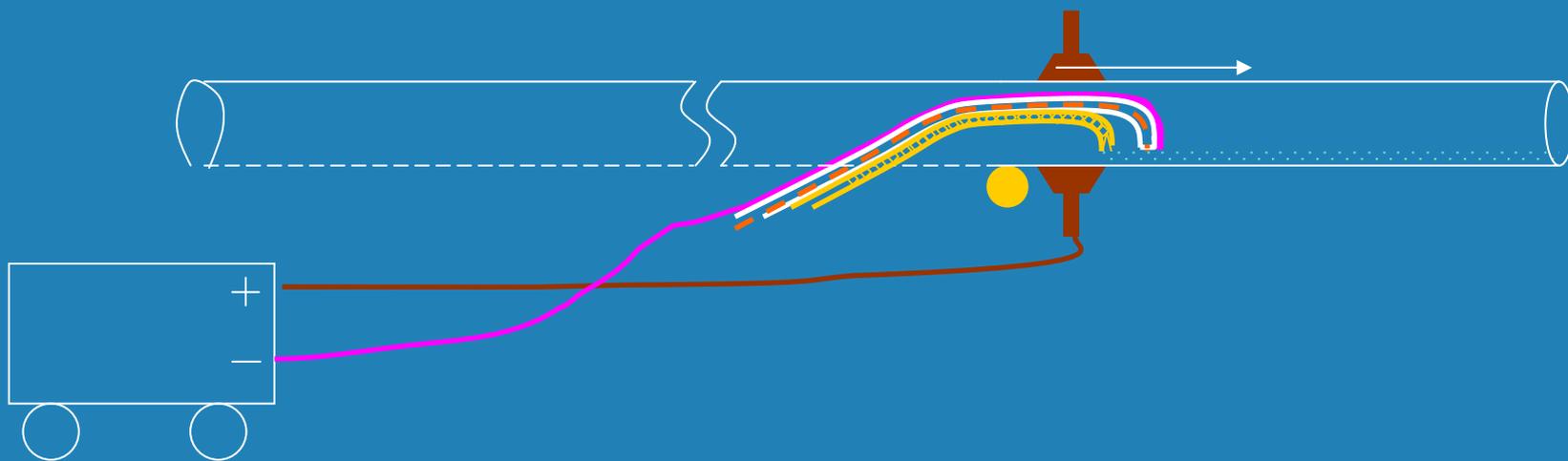


例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

■ 实验二

焊接条件：管外导电刷接至电弧前方400mm焊缝两侧对称处，其它同实验一。

实验结果：同实验一。



例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

■ 分析一

由实验一二结果，导致焊缝表面气孔的可能原因：

- ① 焊接区有强磁场，电弧磁偏吹严重，破坏了有效的渣保护；
- ② 焊剂、焊丝、钢管表面有锈、水分、及油污；
- ③ 钢管合缝区短，合缝不紧密且合缝效果不稳定；
- ④ 焊接规范不稳定。

例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

■ 实验三

焊接条件：采用林肯AC-1200交流焊机

$I = 380A$, $U = 35-36V$

焊剂SJ101G及SJ301

其它同实验一二

实验结果：未发现表面气孔型缺陷

焊缝有咬边和夹渣，酸蚀试样熔深较小

例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

■ 分析二

①采用交流焊接，电弧参数稳定性差，焊缝易产生咬边和夹渣缺陷，且熔深较小影响生产效率。目前条件下，选择直流焊接是上策。

②初步认为钢管内缝表面气孔产生的原因与焊接区强磁场有关，应进一步实验。

例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

■ 实验四

钢管规格： $\phi 219 \times 6$ mm，Q235B

焊接材料：焊丝H08A $\phi 4.0$ mm，焊剂SJ301

弧焊电源：成焊ZD5-1250及林肯DC-1500，直流反接
负极分别多处接管

规范参数： $v = 1.15 - 1.18$ m/min

$I = 360 - 420$ A， $U = 35 - 36$ V

合缝区长： $80 \rightarrow 120 \rightarrow 150$ mm

例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

■ 实验四

试验结果：气孔情况如实验一；钢管成型不好。

例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

■ 实验五

焊接条件：采用4”钢管外覆铜皮良好接地方式对焊机
正极电缆线进行屏蔽以弱化其对钢管的磁
化作用；

采用林肯DC-1500，直流反接；

$I = 340-380A$

其它同实验四。

例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

- 实验五

试验结果：效果有反复！

例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

■ 实验六

焊接材料：焊丝H08A $\phi 4.0$ mm，焊剂SJ301

弧焊电源：林肯DC-1500，直流反接

负极接电弧后钢管内壁

负极电缆与正极电缆平行置于管内

规范参数： $v = 1.15 - 1.18$ m/min

$I = 360 - 420$ A， $U = 33 - 36$ V

例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

■ 实验六

试验结果：采用此工艺多次重复施焊，内焊缝均未出现表面气孔！！！！

例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

■ 分析三

- ①正负电缆均在钢管内部，其产生的磁场相互抵消。
- ②钢管内部空间有限，保证生产中负极可靠连接？

例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

■ 实验七

焊接材料：焊丝H08A $\phi 4.0$ mm，焊剂SJ301

弧焊电源：林肯DC-1500，直流反接

负极接电弧前方管壁

规范参数： $v = 1.15 - 1.18$ m/min

$I = 320 - 380$ A， $U = 33 - 36$ V

外加磁场：自制直流电磁铁，置于电弧前方管外壁

注意磁场方向

例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

- 实验七

试验结果：表面气孔有变小变少趋势。

例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

■ 分析四

如何有效地施加电磁场？

磁场对焊缝成形的影响？

例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

■ 实验八

焊接条件：同实验七

外加磁场：自制电磁铁，置于电弧前方管外壁
通工频交流，产生交变磁场

试验结果：焊缝表面仍存在大量气孔

例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

- 实验九

用磁强计测量钢管焊接区磁场的强弱

例：小直径输气钢管内直缝埋弧自动焊

结论？

思路？

方案？

谢谢！





