

自动和半自动 焊接用的焊剂

周德庆編著



机械工业出版社

內容簡介 焊劑是自動和半自動焊接的重要材料。焊接工人應當對所採用焊劑的性能和作用，有正確的認識，這樣才能對提高產品的質量和生產率有所幫助。這本小冊子就是為了這一目的而編寫的。

本書內容包括焊劑的作用、焊劑的分類和應用。最後還簡單介紹焊劑的生產方法。可供焊接工人作為學習材料。

編著者：周德慶

NO. 3045

1960年2月第一版 1960年2月第一版第一次印刷
787×1092 1/32 字數28千字 印張1⁴/₁₆ 0,001—3,750冊
機械工業出版社(北京阜成門外百萬莊)出版
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業
許可証出字第008號

統一書號T15033·2022
定 價(9) 0.15 元

一 前言

电弧焊接作业的自动化，大大提高了焊接工作的生产率，减轻了焊接工人的劳动强度，同时也保证了焊接产品的质量。1940年，苏联乌克兰科学院电焊研究所完成埋弧自动焊接（也常叫做焊剂层下自动电弧焊接）方法研究后，由于这种方法在实际生产中显出了优越性，立即在工业上得到应用和推广。接着埋弧半自动焊接方法试验成功，和近年来双弧焊接、强制成型焊接等方法的发展，更扩大了自动焊接的应用范围。到现在，苏联已有一半以上的电弧焊接工作自动化了。如造船工业中，自动和半自动焊接已占总的焊接工作量60~75%以上。

解放以后，我国在苏联无私帮助下，焊接工作不但从无到有地建立起来，而且是以跳跃式的速度向前进展着；各种最先进的焊接方法，包括埋弧自动和半自动焊接，在各工业部门已经普遍采用了。

焊剂是埋弧自动和半自动焊接的重要材料。焊接工作者应当对所采用焊剂的性能和作用，有正确的认识，这样才能够更好的发挥焊剂的作用，避免不恰当的使用，从而对提高焊接产品的质量有所帮助。这一本小册子也就是为这一个目的编写的。

在这本小册子里，我们先从大家熟悉的手工电弧焊接用的焊条谈起。大家知道最初用的手弧焊条是没有药皮的裸金属芯，这样不但焊成的焊缝质量极坏，而且焊接操作也很困难。后来在金属芯上涂了一薄层白垩（碳酸钙矿物）等涂料，焊接操作性能是改善了，但焊缝的质量还是很坏，不能用在重要的结构上。直到

塗有厚药皮的优质焊条出现后，焊缝金属的质量才有了保证，电弧焊接工作才开始大踏步的发展起来，成为金属连接的最好方法。在焊接过程中，焊条药皮不但能够稳定电弧，使掌握焊接操作容易，隔绝空气与熔化金属的接触，保护了焊缝金属的清洁，而且还能够渗加合金元素，改善焊缝金属的性能。

由于焊条药皮的良好效果，很早以前的自动焊接方法中，也曾学习这个经验：采用塗有药皮的焊丝进行自动焊接。为了传导焊接电流，当然不能把焊丝全部用不导电的药皮包住。有的做成图 1 那样的截面形状，保留有露出药皮外的金属部分，可以传导焊接电流。当时用这种塗药皮焊丝进行的明弧自动焊接，生产率提高不多，而焊丝制造却相当复杂，无法和优质焊条的手工焊接竞争，所以没有得到推广应用。自动化电弧焊接的宝座，不得不给焊剂层下的埋弧焊接所占有。焊剂层下埋弧自动焊接的生产率，要比手工焊接提高 5~10 倍。



图 1 明弧自动焊丝截面图：

甲—塗有稳定涂料的焊丝；乙—塗有优质涂料的十字形焊丝。

埋弧自动焊接是用一种有一定化学成分、颗粒结构和大小的物质，来代替塗在焊丝外的药皮，把它堆积在焊缝上，用裸焊丝进行焊接。这种叫做〔焊剂〕的颗粒状物质，同样有保护和改善焊缝金属的功效，并且还有其他的优点，以后将要谈到的。

在这里我们可以体会到，金属的焊接过程中，常常需要加用一种〔物质〕来改善焊接过程和焊缝质量。这种〔物质〕当塗敷

在填充金屬（这里我們叫焊芯或焊絲）上时，就叫做「药皮」（也有叫「塗料」的）；如果并不塗敷在填充金屬上，只在焊接进行中临时加入的，我們就把它叫做「焊剂」（也有叫「焊药」、「熔剂」或「助熔剂」的）[●]。所以，从广义方面来讲，「焊剂」一詞所指的範圍，可以包括各种焊接方法中所用的。即使在电弧焊接範圍內，除了埋弧焊接中所用外，还有近年来发展起来的明弧焊接用的「磁性焊剂」[●]，而气体保护焊接中所用的氩、氮、二氧化碳等，也可以认做是「气态焊剂」。我們在这本小册子中所談的是自动和半自动埋弧焊接用的焊剂，并且主要是指黑色金屬焊接範圍內的。因为这种焊接的工作，在目前工业上应用得最广泛。

二 焊剂在自动和半自动焊接过程中的作用

1. 埋弧自动和半自动焊接的实质 埋弧自动焊接是用裸焊絲配合焊剂来进行焊接的。焊接过程和电弧、焊池、焊缝的形成，可从图2說明概况。

在图2甲中看到，焊剂3通过导管7撒在基本金屬1的要焊接处，焊絲2經過导电嘴8也同时送到，焊接电弧9就发生在焊絲端头和基本金屬之間。因为有厚层焊剂盖复着，外面看不见电

-
- 一般的习惯，钎焊工作中所用的叫做「焊药」或「焊料」，熔化焊接中所用的叫做「焊剂」。因为埋弧自动和半自动焊接比較普遍，平常所叫「焊剂」常常就指这种焊接方法中所用的。至于叫做「熔剂」或「助熔剂」并不妥当，因为这些「物质」在熔化焊接过程中的作用，并不会帮助金屬的熔化。
 - 磁性焊剂是混有金屬鉄粉或磁性氧化鉄的焊剂。在焊接过程中，导电嘴以下焊絲通过电流密度很大，产生的强力磁場把焊剂吸附在焊絲周圍，这样焊絲外面好像包有一层药皮，进行焊接。

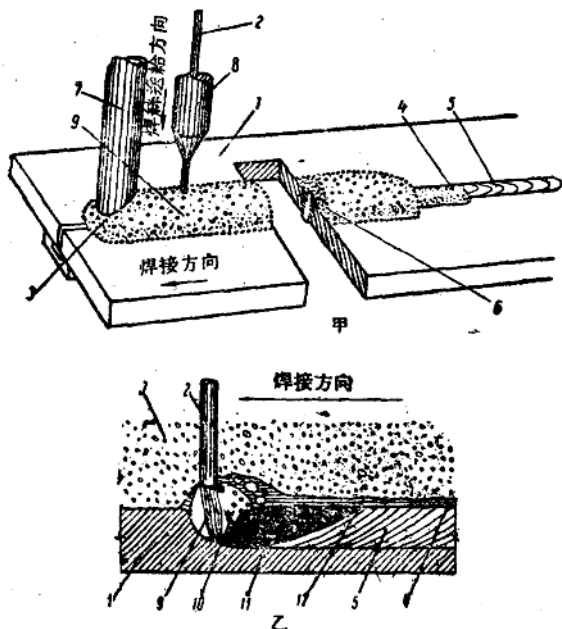


图2 埋弧自动焊接示意图:

1—基本金属, 2—焊丝; 3—焊剂; 4—凝結的熔渣; 5—焊缝金属;
6—未熔化的焊剂; 7—焊剂导管; 8—导电嘴; 9—焊接电弧; 10—
电弧气泡; 11—焊池; 12—液态熔渣。

弧, 所以操作工人可以不用面罩, 很方便地进行工作。随着焊剂和焊絲的繼續送給, 焊剂导管和导电嘴也同时沿着焊接方向前进, 焊缝5就連續形成了。最后扫除未熔化的焊剂6, 打去凝結的熔渣4, 就完成了焊接工作。

再从剖面图(图2乙)看到, 基本金属1和焊絲2之間所发生电弧9的高温, 熔化了焊絲端头、附近的基本金属和焊剂。这些熔化物质混和后形成了焊池11。由于电弧的温度很高, 部分金

屬和焊劑蒸发成气体状态，加上混在焊劑顆粒間的空气，以及熔化焊劑和金屬間进行化学反应产生的气体，形成气泡10。气泡下面是焊池，上面有熔化的焊劑形成一层壳膜包圍着，这些熔化的焊劑12（叫做熔渣）和它上面未熔化的焊劑层，比較严密地隔絕了空气，使它不能侵入焊池。

电弧是在气泡中燃燒的，如果气泡偶而被破坏，气体向外逃出，那么液态熔渣立即沉到焊池中造成短路。但是新产生的蒸气和气体排挤熔渣向上，又重新形成气泡，使电弧能够繼續燃燒。焊劑在加热熔化过程中发生气体过多时，会使气泡經常破坏，焊接过程不稳定。所以，一般焊劑是不希望含有发生气体的物质的。

电弧下面的焊池搅动得很剧烈，使熔化金屬和熔渣充分混和，发生物理化学作用。随着焊接的进行，电弧离开，搅动随即停止，焊池中比較輕的熔渣和气体逐渐上浮，气体向外逸出，熔渣則盖复在金屬上面。再随着温度降低，液态金屬开始結晶凝固成焊縫金屬，熔渣因为凝固温度較低，它的凝結要迟一步（图2乙中4）。

手工电弧焊接时，焊接电流要从整根焊芯的一端通向另一端。为了避免电流通过焊芯时产生的电阻热不要太大，免得焊芯金屬过热变紅，影响焊接质量，焊接电流受到很大限制。但在埋弧自动焊接时，向焊絲傳送电流的导电嘴，距离焊接电弧只有50~80毫米，这样就能够用强大的电流进行焊接。一般4~8毫米直徑焊絲，埋弧自动焊接中可以用600~3000安培电流，而手工焊接只能用160~600安培焊接电流。所以埋弧自动焊接的生产率远比手工焊接高。

因为焊劑的遮盖，埋弧自动焊接中金屬的燒損、飞溅和热量的輻射損失，可以减低到很小，而电弧热量也能够集中利用，节省了焊絲金屬和电力。从表1可以看出，埋弧自动焊接中电弧热

表1 埋弧自动焊和手工电弧焊的热量平衡比较表

耗 热 形 式	耗 热 (%)	
	埋 弧 自 动 焊 接	手 工 电 弧 焊 接
焊絲金屬的熔化	34	15
焊条药皮的熔化	—	15
焊剂的熔化	24	—
基本金屬的熔化	34	10
向四周金屬散熱	8	45
热輻射	—	15
	100	100

的利用率，比手工电弧焊接高得多了。

2. 对焊剂的要求 焊剂在自动焊接过程中所起的作用 是重要的。为了使它能担负起这些重要的作用，应当符合下面几点要求。

(一) 焊剂应保证电弧燃烧稳定，使焊接过程平稳。这一个要求在半自动焊接用焊剂中，尤其显得重要。

(二) 焊剂应保证焊缝金属不发生裂缝和气孔。

(三) 焊剂应保证焊缝有良好的成型。

(四) 焊剂所造成的熔渣要有良好的脱落的性。

(五) 焊剂应保证焊缝金属有一定的化学成分和机械性能。

(六) 焊剂在焊接过程中不应产生过多的有害气体，妨碍工作人员健康。

(七) 焊剂对基本金属表面上的锈污，不应有很大的敏感，以便应用(見第10頁)。

为了使焊剂能够达到以上要求，我们就得使焊剂具有一定的化学成分，含最低限度的硫磷等有害杂质，有一定大小的颗粒度

以及使焊剂颗粒要有相当的机械强度和抗吸湿性能,以免在贮存、运输和使用过程中容易破碎和吸收水分,影响焊接质量。此外,焊剂的原材料应该价廉易得,制造过程要简单方便,能够大量生产供应,这样才有条件普遍和大量采用。

3. 焊接过程的稳定性 在不稳定的焊接过程中得到的焊缝金属,质量肯定是十分恶劣的。

要保证稳定的焊接过程,主要在于电弧燃烧稳定。电弧燃烧的稳定性(一般用可能达到的最大弧长来表示,也可以从观察焊接过程中电弧电压和电流的波动范围来判断),是依靠电弧燃烧气泡中气体和蒸气混合物(弧气)的电离电位来决定的。

我们知道气体是不导电的。要使气体导电,就需要使气体中具有带电的微粒。也只有在这种情况下,电弧能够很好的燃烧。使气体中形成带电微粒的过程,叫做气体的电离,就是使气体原子中的电子,离开原子核游离出来。要达到这样的目的就得做一定的功,我们称这种功为电离功,单位用伏特来表示时叫做电离电位。电子和原子核结合愈牢固的,要使它分离的电压愈大,则电弧燃烧就愈不稳定,电弧引燃也较困难。表2介绍了几种金属元素的电离电位。

表2 几种金属元素的电离电位

元 素	钾	钠	钡	钙	钛	锰	铁
电离电位(伏特)	4.33	5.11	5.19	6.10	6.80	7.40	7.83

电离电位比焊接金属小得愈多的元素,在焊接过程中愈可以起稳定电弧的作用。在这里可以看出,钾,钠,钡,钙这些元素,尤其是钾和钠,具有最小的电离电位。所以焊剂中如果加入含有

这些元素的組成物时，就能降低弧气的电离电位，保证电弧的稳定燃烧。

氟、氯等卤族元素是属于反电离化元素。焊剂中加入含有这些元素的組成物时，就会破坏电弧的稳定燃烧，影响焊接过程的稳定性。但目前所用焊剂中，差不多都宁可牺牲点电弧稳定性加入些含氟的組成物(氟化钙)。这方面原因以后将要谈到。

上面已讲过，焊剂的稳定性一般可以用电弧燃烧时最大可能的弧长来表示的。几种焊剂的稳定性試驗数据如表 3 所示。

表 3 各种焊剂层下燃烧的电弧最大长度

焊 剂 牌 号	明弧	AH-1	AH-2	AH-3	OCU-45	ΦU-1
最大弧长(毫米)	10~12	17	20	22	8	20

可見 AH, ΦU 型焊剂有最大的稳定性，而 OCU-45 焊剂由于含有較多量氟化钙，最大弧长比空气中燃烧的明弧还短。所以，用 OCU-45 焊剂进行埋弧自动焊接时，要求有較高的空载电压，才能使焊接过程稳定。

除了焊剂的化学組成物外，不恰当的焊剂颗粒度和焊接规范，也常常是造成焊接过程不稳定的原因。这是在使用时要注意的。

4. 焊缝金属中的气孔 焊缝金属中气孔的形成，是由于熔焊金属在冷却凝固过程中析出或产生的气体，来不及逸出而被包围在固体金属中所致。这些气体可以是氢、氮，或一氧化碳等。

埋弧自动焊接中形成气孔的主要原因是：(一)焊剂层厚度不足，不能充分隔离空气；(二)焊丝或基本金属上有锈；(三)使用受潮的焊剂或基本金属上有水迹；(四)焊丝或基本金属上有油污等有机物。

当焊池上盖复焊剂层厚度不够时，空气中的氧和氮就会进入焊池而产生气孔。但在正常的焊接规范中，焊缝上有25~75毫米厚的焊剂盖复着（一般在40毫米厚以上），这样隔绝空气的效果，要比手工电弧焊接中优质焊条药皮所造成的熔渣要好得多。所以在埋弧自动焊接中，因为隔绝空气不良而使焊缝金属产生气孔的危险是不大的。

埋弧自动焊接中最危险和最常见的产生气孔的原因是氢的影响。铁锈和水分的蒸发和分解，使弧气中含氢量大增，油脂等有机物的分解也产生了氢。在电弧的高温中，氢在液体钢中的溶解度很大。但当温度降低，液体金属开始结晶凝固时，氢的溶解度剧烈减小，这时氢在金属中成过饱和状态，因而急剧的析出来。但常因金属已开始凝固，气体不及逸出，这样就造成了焊缝中发生气孔的缺陷。

设法减少焊池中氢的含量，对避免焊缝金属中发生气孔是很重要的。我们可以从二方面来设法减少氢的含量：（一）使用干燥的焊剂，并且把焊丝和基本金属焊接处附近的锈污去除干净，以减少弧气中氢的含量；（二）使弧气中的氢和某些元素结合成不溶于液体钢中的稳固的化合物。第二个方法是在焊剂组成物中加入氟的化合物（氟化钙）来达到这目的。因为氟和氢所结合成的化合物（氟化氢），在电弧高温中仍旧是很稳固的，这种化合物不像氢一样容易溶于液体钢中。当焊剂中含有大量二氧化硅时，氟化钙中的氟和弧气中的氢结合成化合物的机会更多。从图3中可以明白的看出，当焊剂中含有多量氟化钙和二氧化硅时，焊缝金属生成气孔的倾向就大大减少了。

在上节中曾谈到过，由于含氟物质的加入，会使电弧的稳定性变坏。为了这个缘故，有时也在焊剂中加进含碱金属元素（如

鉀，鈉)的化合物來改善電弧燃燒性能。但這些元素又會妨礙氫和氟的結合，削弱抵抗氣孔生成的傾向。所以在實際配製焊劑時，需要多方面的考慮。

為了工業生產上應用方便，希望焊劑對於因鐵銹、油污和水分引起氣孔的傾向，有較小的敏感性。但在目前通用的熔煉焊劑中，除了上面所說加入含氟物質能起一些作用外，現在還沒有找到更有效的方法，使弧氣中的大量氫（鐵銹、油污和水分的存在使弧氣中含氫量大增），不會形成焊縫金屬發生氣孔的危險。所以，現在我們在埋弧自動焊接工作中，還是要求做到清除鐵銹、油污和應用乾燥的焊劑。

具有氧化性的K型非熔煉焊劑（如K-2牌號焊劑），有較大的抗氣孔生成能力，這是因為在含大量氧化鐵的熔渣下，焊池金屬中含氧較多而降低了氫的溶解度的緣故。用這種焊劑進行埋弧焊接時，基本金屬上稍有些銹污或潮氣，仍能順利地得到良好的焊縫。

5. 焊劑對焊縫金屬化學成分和機械性能的影響 焊劑在焊接過程中，對焊縫金屬化學成分的改善，起着一定的作用。這些作用是通過熔化金屬和熔渣間相互作用的結果來達到的。這些作用的實質，是按照需要向焊縫金屬滲加合金元素，以及精煉焊縫

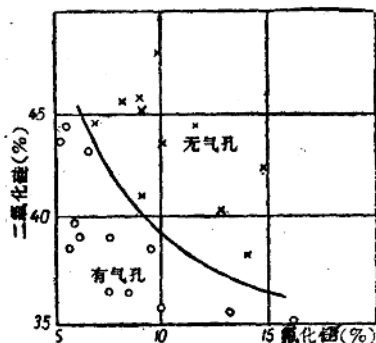


图3 焊劑中氧化矽及氟化鈣含量對發生氣孔的影響：

×—100毫米焊縫中引入0.4克鐵銹結果無氣孔；

○—同上情況時發生氣孔。

金屬，減低硫磷等雜質的含量。

當用優質焊條手工電弧焊接時，焊縫金屬的合金化可以依靠藥皮中的鐵合金。增加鐵合金含量，就可以使焊縫金屬高度的合金化。一般常用的埋弧自動焊接用熔煉焊劑，是不含鐵合金的，它的主要成分是各種氧化物。用這種焊劑進行焊接時，焊縫金屬滲合金的程度不大，並且實際上也只限于錳和硅二個元素。

手弧焊用焊條上的藥皮和焊芯金屬的重量有一定的比例。焊接過程中藥皮和焊芯同時熔化，所以合金化的程度，在焊條製成時已經給予規定。但在焊劑層下埋弧焊接時，焊絲金屬和焊劑熔化量的比例是有變化的，這就與焊接規範有關。這樣也就不難了解，埋弧自動焊接時，焊劑對焊縫金屬的滲合金程度，與焊絲金屬和焊劑熔化比例有關，也就是說要受到焊接規範影響。

低碳鋼焊縫金屬以含有下列化學成分為合適：碳 $0.10\sim0.13\%$ ；錳 $0.65\sim0.90\%$ ；硅 $0.15\sim0.30\%$ ；硫和磷各 0.04% 以下。一般低碳鋼材和焊絲中含錳和硅的量都不大，為了達到符合上列化學成分的焊縫金屬，就需要從焊劑的錳和硅過渡到金屬中去。一般用高硅高錳焊劑和低碳鋼焊絲焊接時，焊劑中的氧化錳和氧化硅在電弧高溫中與金屬鐵反應的結果，會使錳和硅還原而過渡到焊縫金屬中去。根據焊接規範的不同，通常焊池中錳的增加在 $0.1\sim0.4\%$ 間，硅的增加在 $0.1\sim0.3\%$ 間。

用不含或只含少量氧化錳的高硅無錳焊劑時，為了滿足焊縫金屬含錳量的要求和彌補焊池中錳的燒損，必需配用含錳達 2% 的高錳焊絲。

埋弧焊接高合金鋼時，常用和基本金屬化學成分相似的焊絲，來保證得到要求的焊縫金屬。合金鋼焊接時，焊縫金屬中不需要添加錳和硅，並且為了避免某些合金元素的氧化燒損，焊劑中還

得避免含有大量的氧化錳和氧化硅。因為這些氧化物對鉻和鈦等元素來說，還是氧化性較強的物質，焊劑中少含或不含氧化錳或氧化硅時，合金元素的燒損可以很少。

不經過熔煉過程製造的非熔煉焊劑，是造渣劑、鐵合金、和其他物質機械混合粘結成的顆粒狀物質。在這種焊劑中，可以自由地加入鐵合金，所以能夠像厚藥皮手工焊條一樣，可以對焊縫金屬進行高度的合金化。在這種情況下，焊接過程中焊劑和焊絲的熔化量比例，對焊縫金屬合金化程度的影響，比不含鐵合金的熔煉焊劑要大得多了。也就是說，焊接規範的變動，對焊縫金屬化學成分的影響是比較大的。這裡我們就必須注意到，當用非熔煉焊劑進行焊接時，保持穩定的規範，尤其顯得重要。

硫和磷都是有害焊縫金屬的雜質。硫容易引起焊縫的熱裂，磷會使金屬發生冷脆。焊縫金屬中最終的硫磷含量，是和焊絲金屬和基本金屬的硫磷原始含量以及焊劑中的硫磷含量有關的，但也受焊劑化學組成的影響。焊劑中含有大量氧化錳時，可以減低硫向金屬過渡，這點在下節還將討論到。磷向金屬過渡的傾向要比硫大些，只有當焊劑有適當氧化性時（如有錳的高價氧化物存在），磷的過渡能稍微減弱。在多道焊接時，焊縫中磷的含量會一層比一層高起來，由於一般焊劑對清除硫磷能力比較薄弱，不得不對焊絲和焊劑中硫磷含量，予以嚴格的限制。

，以大理石為基礎的 KC 型鹼性非熔煉焊劑（如 KC-1 牌號焊劑），對去除金屬中硫磷（尤其是硫），有較大的作用，所以可以獲得性能優良清潔的焊縫金屬。

焊劑層下埋弧自動焊接過程中，由於厚層焊劑的蓋復，焊池隔絕空氣的效果要比手弧焊用焊條的薄層熔渣好得多。因為隔絕空氣效果良好，空氣中氧和氮很少進入焊縫金屬中。金屬中含有

氧和氮，尤其是氮，会引起塑性和韧性的变坏。所以，从焊缝金属的组织看，埋弧焊接和手弧焊接虽然是一样的柱状组织，但在机械性能上却显现出埋弧焊接焊缝金属有良好塑性和韧性。这主要就在氧氮等杂质含量低的缘故。表4可以说明这一个特点。

表 4

焊接方法	焊条或焊剂种类	气体含量(%)		机 械 性 能			
		氧	氮	抗拉强度 (公斤/毫米 ²)	屈服点 (公斤/毫米 ²)	延伸率 (%)	冲击韧性 (公斤米/厘米 ²)
手工电弧焊	白堊焊条	0.240	0.160	39.8	—	5.9	0.8
手工电弧焊	厚药皮焊条	0.025	0.023	52.2	—	13.1	9.6
埋弧自动焊	AH-1焊剂	0.012	0.0013	53.3	38.4	22.9	13.0

6. 热裂纹的形成原因 在低碳钢焊接中，硫是形成热裂纹的主要原因。焊接过程中，当电弧离开后，焊池就开始冷却和凝固，首先是较纯的金属结晶析出。如果熔化金属中有多量硫时，它和铁形成低熔点的硫化铁（熔点1193°C）和铁形成易熔的共晶组织。这样，当金属铁到了开始结晶的温度时（约1500°C），它还是液态而以薄膜状分布在金属铁结晶边界面间，破坏了晶粒间的联系。在这种情况下，只要不大的拉应力存在，就会使液态层发生裂口。这种裂口是在1000~1500°C温度间发生的，所以我们就称为热裂纹。

为了减少这种热裂纹发生的倾向，我们除了限制焊丝金属的含硫量外，同时也要求焊剂中不要有硫过渡到金属中去。硫自焊剂向熔化金属过渡的程度，当然和焊剂含硫量以及金属原来含硫量有关，但也受焊剂成分的影响。焊剂中氧化锰含量愈多时，硫的过渡愈少；当含有大量氧化锰时，还有可能使原来金属中的含

硫量減低。在通常焊劑所允許的含硫量時（一般允許達 0.15%），焊劑內只要含有 30% 的氧化錳，就沒有硫的過渡。但如焊劑含硫量超過 0.15% 時，雖然提高氧化錳的含量，也會有硫的過渡。當然，這種過渡是與焊池金屬中原來含硫量有關的。

焊劑中有足夠量錳時，不但減少了硫的過渡，並且使留存金屬中的硫形成沒有危害性的硫化錳。硫化錳的熔點較高（1620°C），焊池金屬沒有凝固前它就有可能上浮入熔渣中；混雜在金屬中的硫化錳也將以細粒狀態獨立存在，不會發生像硫化鐵一樣的危害。焊縫金屬中有相當含錳量時，所有硫都能以硫化錳狀態存在，避免形成熱裂縫。這就是為什麼我們希望焊縫金屬有 0.65~0.90% 錳含量的緣故。

無錳焊劑對於避免由於硫所引起熱裂縫方面，是比較不利的，所以我們在無錳焊劑中要特別注意含硫量的限度。

7. 熔渣的脫落性 焊接過程結束後，蓋復在焊縫金屬表面的熔渣，已完成它的任務，應該把它從金屬表面清除掉。熔渣和金屬表面附着的牢固度，影響到清除工作的難易，也就是影響了焊接工作的生產率。這在多道焊接時尤其顯得突出。

有關熔渣脫落性的問題，可以從三方面來考慮：（一）熔渣與焊縫金屬間熱膨脹系數的差別；（二）熔渣與金屬界面間的機械聯系；（三）熔渣與金屬界面間的中間粘連層。

熔渣和金屬間的熱膨脹系數相差愈大，熔渣愈易脫落。焊縫成型不良，表面粗糙殘缺，或有咬邊滿溢等缺陷時，使熔渣和金屬表面有較牢固的機械聯系，會增加清除的困難。但在一般自動焊接工作中，焊縫成型正常的話，熔渣和金屬間的機械聯結是不大的。尤其如在單道焊接或堆焊情況中，這時上面所說的第三點，就是熔渣與金屬界面間的中間粘連層，對熔渣的脫落性起了主要

的影响。

焊接过程的后期，即当金属刚凝固而熔渣还是液态时，它们之间仍相互起着作用，液态熔渣和已凝固金属面间的作用，虽不及电弧高温时液态熔渣和液态金属之间的剧烈，但还是进行着的。这一阶段作用是发生在金属凝固后（约 1500°C ）和熔渣凝固前（ $1100\sim 1250^{\circ}\text{C}$ ）的一段时间内，在一般焊接规范中大概有 $15\sim 30$ 秒的时间。

一般液态熔渣对凝固金属表面，多少起些氧化作用，当熔渣脱氧性不良时，氧化作用格外显著。这种氧化作用的结果，在焊缝金属表面造成了一层以氧化铁为主的氧化皮。这层氧化皮既与金属表面粘接一起，又和熔渣结合很牢，就成为联系二者之间的中间粘连层，使熔渣不容易打落干净。

减少这种氧化中间层，对改善熔渣脱落性来说是值得注意的。为了达到这个目的，在焊剂方面可以从下面二点来设法：（一）在焊剂中减少氧化锰的含量，这样就降低了焊剂的氧化能力；（二）增加焊剂中脱氧剂（如铝，硅等）的量，以加强它的脱氧能力。

从这里我们可以看出，无锰焊剂或含有足够量铁合金的非熔炼焊剂，都有比较好的熔渣脱落性能。

8. 焊剂对焊缝成型的影响 焊缝的成型在很大程度上受焊接规范的影响，例如焊接电流、电压、焊接速度、焊丝倾斜角度等等。但也和焊剂的化学成分、物理性质和颗粒结构大小有关。

焊接规范和焊剂特性都影响到电弧燃烧的稳定性，如果焊接过程不稳定，焊成焊缝的成型一定非常恶劣。焊剂中含氟化钙较多时，将因为焊接弧气中氟化物增多，影响电弧的稳定，情况严重时甚至无法进行正常的焊接，或得到的焊缝是十分粗劣的。情况较好时，也将不得不限制在短电弧中进行焊接，结果形成的焊