

焊接职业危害的防护

人 民 卫 生 出 版 社

目 录

第一章	概述	1
第二章	手工电弧焊	5
第一节	工艺简介	5
第二节	劳动卫生特点	11
第三节	职业性危害	20
第四节	卫生防护措施	45
第三章	氩弧焊	54
第一节	工艺简介	54
第二节	劳动卫生特点	56
第三节	职业性危害	65
第四节	卫生防护措施	69
第四章	等离子焊	84
第一节	工艺简介	84
第二节	劳动卫生特点	88
第三节	职业性危害	100
第四节	卫生防护措施	100
第五章	其他	110
第一节	真空电子束焊	110
第二节	二氧化碳气体保护焊	122

第一章 概 述

焊接是把两个分离的物体，借助于原子的结合，使之联结成一个整体的过程。焊接与铆接比较，不仅提高了加工质量，而且尚具有工艺简便、生产效率高、节约钢材等优点。因此焊接作为金属构件的一种基本加工方法，在冶金、石油、化工、机械制造、航空、造船、建筑，以及国防和尖端技术等许多重要工业部门中获得了广泛的应用。

焊接不仅用于金属，还可以用于非金属，如玻璃、塑料等，但目前应用最广泛的还是金属焊接。

近代工业上首先应用的焊接方法是利用电弧作热源熔化金属进行焊接的电焊法。以后又发展了利用氧-乙炔火焰作为热源进行焊接的气焊法。这两种焊接方法，直到目前为止，仍旧是一般金属构件加工焊接的最常用方法。但是随着工业和科学技术的发展，为了满足大工件、有色金属以及高强度耐热合金等的焊接要求，在电弧焊的基础上，逐步发明了电渣焊、氩弧焊、等离子焊，以及接触焊、摩擦焊等焊接方法。近年来由于尖端科学部门的产生和需要，在焊接技术方面又发展了真空电子束焊、激光焊、超声波焊等工艺。

有关各种焊接方法的分类、基本原理和用途见表 1 和表 2。

由于某些焊接生产过程中，可以产生对人体健康有危害的一些不良因素，如有毒气体、粉尘、高温、紫外线、高频电磁场、电离辐射等，因此为了保护从事焊接生产和科研人员的安全健康，我们就必需了解各种焊接生产中有哪些不良

表 1 金属焊接方法的分类

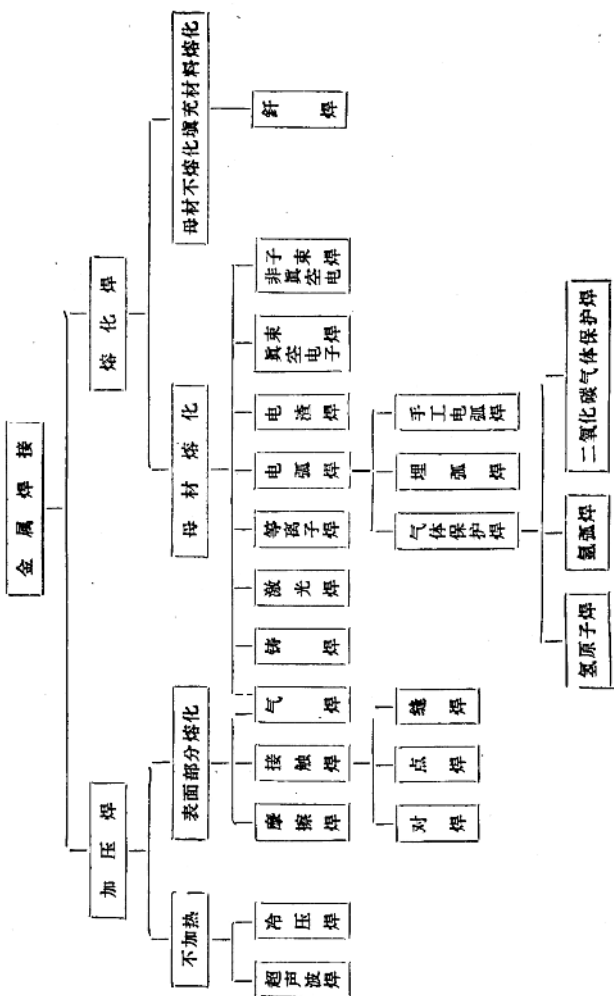


表 2 焊接原理及用途

分 类		原 理	用 途
熔 化 焊	母材不熔化	钎焊 将比母材熔点低的钎料熔化，利用它将工件接合在一起	用于焊接薄的、尺寸小的工件
	母 材 熔 化	电渣焊 利用电流通过溶渣产生的电阻热来熔化金属，它的加热范围大，对厚的焊件能一次焊成	焊接大型和很厚的零部件。也可进行电渣熔炼
		手工电弧焊 利用电弧热量熔化焊条和母材，形成焊缝的一种焊接方法	应用范围广、适于短小焊缝及空间各种位置的焊缝
		埋弧焊 电弧是在焊剂层下燃烧，焊丝自动送入焊接区，质量好，成形美观	适用于长焊缝焊接，焊接电流大，生产率高
		气体保护焊 用保护性气体将空气和熔化金属机械的隔开，防止熔化金属氧化和氮化。保护气体可采用：氩气、氦气、二氧化碳等，以氩气保护效果最佳	用于自动或手工焊接铝、钛、铜等有色金属及其合金
	等离子焊 是利用气体在电弧内电离后，再经过热收缩效应和磁收缩效应而产生的一束高温热源。由于能量密度大，电弧温度高，通常在8000~24000℃以上	可用于焊接不锈钢、高强度钢、耐热合金钢以及钛、铜和钛合金等。并可焊接高熔点及高导热性金属	
	熔 材 熔 化	真空电子束焊 利用电子枪发射的高能电子束在真空中轰击焊件，使电子的动能变为热能，以达到熔焊的目的	主要用于尖端技术方面的活泼金属和高熔点金属，高纯度金属的焊接
		非真空电子束焊 利用电子枪发射高能电子束，此电子束具有足够的能量密度，能在大气中轰击焊件，达到熔化金属形成焊缝	适于焊接不锈钢等材料，也有焊接结构钢部件的可能性
	化 焊	激光焊 利用激光束聚焦后获得的高功率的光斑，投射在工件上，使光能变为热能来熔化金属而焊接	适用于铝、铜、银、不锈钢、钨、钼等金属的焊接
		铸焊 采用铝热剂或镁热剂氧化时放出热量熔化金属	适用于电车轨道修理

分 类		原 理	用 途
加 压 焊	表 面 部 分 熔 化	气焊 利用氧-乙炔火焰或其它气体火焰加热焊件、熔化焊料及焊件表面部分而达到焊接目的，火焰温度约3000℃	适宜于焊接较薄工件，有色金属和铸铁等
		接触焊 利用电流通过焊件产生的电阻热加压进行焊接，其特点为机械化自动化程度较高。可分点焊、缝焊、对焊。点、缝焊是把工件加热到局部熔化状态，同时加压。对焊时工件加热到塑性状态或表面熔化状态，同时加压。	可焊接薄板、板料、棒料
		摩擦焊 利用焊件摩擦产生的热量将工件加热到塑性状态，然后加压形成接头	用于焊接导热性好，易氧化的金属，如有色金属及其合金
	不 加 热	冷压焊 不加热，只靠强大的压力，使工件产生很大程度的塑性变形，工件接触面上金属产生流动，破坏了氧化膜，并在强大压力作用下，借助于扩散和再结晶过程使金属焊在一起	主要用于导线焊接
		超声波焊 利用超声波机械振荡作用，加速工件接触面上的原子间扩散过程。它不加热，只加压力	点焊有色金属及其合金薄板，厚度在2毫米以下

因素，这些不良因素可能产生哪些有害影响，以及熟悉和掌握有关防治这些危害的方法。

现阶段主要是熔化焊工艺，特别是明弧焊时产生的职业危害较多，所以本书将重点介绍明弧焊中的手工电弧焊、氩弧焊，以及等离子焊等焊接生产过程中的职业危害。

需要指出的是，直到目前为止，对一些焊接生产中的有害因素和劳动卫生问题了解得还不透彻，有些还不认识，而且随着焊接工艺的不断进展，有可能产生一些新的劳动卫生学问题，这些都有待于今后不断地积累经验，进行科学总结，加以逐步解决。

第二章 手工电弧焊

第一节 工艺简介

一、焊接电弧

手工电弧焊是以焊条与焊件（被焊的金属制件）作为两个电极，利用两电极之间产生的电弧放电时产生的热量，使金属熔化，从而使两块金属熔合成一体的焊接过程。

在两电极之间的气体介质中，强烈而持久的放电现象称为电弧。电弧放电时，一方面产生高热，电弧中心部分的温度可高达 $3,000\sim 4,000^{\circ}\text{C}$ ，同时产生强光。

产生焊接电弧一般先要进行引弧，将焊条与焊件相互接触产生短路。由于接触部分的电阻和通过的电流密度很大，使两电极间的接触点产生大量电阻热，焊条末端和焊件迅速加热到白热熔化状态。然后将焊条稍微提起，在这瞬间大量的电流由熔化的金属细颈通过。此时，因大电流密度而产生的电阻热突然增大，使细颈部分的液体金属温度猛烈升高，随着焊条与焊件的迅速分开，两电极间的空气间隙，强烈地受热而发生热电离，使中性原子变成带电离子和电子。同时，被加热的阴极上有高速的电子飞出，撞击空气中的分子和原子，使空气发生碰撞电离，产生了阳离子、阴离子和自由电子。这时在电场的作用下，带电微粒按一定的方向移动。阳离子移向阴极并与阴极碰撞；阴离子和自由电子移向阳极并与阳极碰撞，碰撞结果更加速了电子的发射，最终使两电极间的空气剧烈电离而产生电弧。这种电弧就是手工电弧焊焊

接时加热，以及熔化母材和焊条的热源。

手工电弧焊一般既可采用直流电，也可采用交流电作为焊接电源。当采用一些含多量莹石的碱性低氢型焊条时，因其稳弧性差，限用直流电源进行焊接。

有关手工电弧焊组成的各个部分见图1。

二、焊条

焊条是进行手工电弧焊时不可缺少的材料。根据不同的焊接要求，需要选择使用不同性能的焊条。目前我国根据焊条不同的特性和用途，分为十一大类：(1)结构钢焊条（包括普通低合金钢），(2)珠光体耐热钢焊条，(3)奥氏体不锈钢焊条，(4)铬不锈钢焊条，(5)低温钢焊条，(6)堆焊焊条，(7)铸铁焊条，(8)铜及铜合金焊条，(9)镍及镍合金焊条，(10)铝及铝合金焊条，(11)特殊用途焊条。

焊条由焊芯和药皮组成，没有药皮的焊条称作裸焊条，现已很少应用。焊芯的最主要成分为钢，另外尚含有微量的碳、锰、硅、铬、镍，以及硫和磷等化学元素。焊芯在焊接时的功用，一是传导焊接电流，产生电弧，二是焊芯本身熔化形成焊缝中的填充金属。药皮有厚薄之分，薄药皮焊条的药皮重量仅为1~2%左右，仅能起稳弧作用。目前最常用的是厚药皮焊条，药皮的重量约占整个焊条重量的30~50%。这种厚药皮的功用，不仅能起稳弧作用，而且还具有焊接时

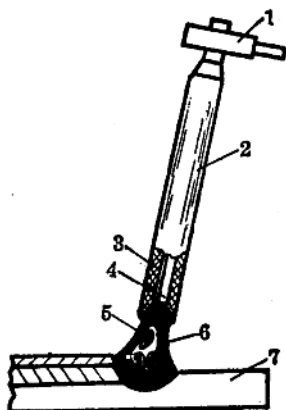


图1 手工电弧焊示意图

1.焊钳 2.焊条 3.药皮 4.焊条芯
5.熔滴 6.电弧 7.焊件

表3 药皮原料的种类、名称和主要作用

原料种类	原料名称	主要作用
稳弧剂	碳酸钾、碳酸钠、长石、大理石、钛白粉、钠水玻璃、钾水玻璃	提高电弧燃烧的稳定性
脱氧剂	锰铁、硅铁、钛铁、铝铁、石墨、木炭	对熔渣和焊缝金属进行脱氧
造渣剂	大理石、萤石、菱苦土、长石、花岗石、黄土、钛铁矿、锰矿、赤铁矿、钛白粉、金红石	形成具有一定物理化学性能的熔渣，使之产生良好的机械保护和冶金处理作用
造气剂	淀粉、木屑、纤维素、大理石	形成保护气氛
合金剂	锰铁、硅铁、钛铁、铬铁、钼铁、钨铁、钒铁、石墨	向焊缝金属中掺入必要的合金成分
粘结剂	钾水玻璃、钠水玻璃	将药皮牢固地粘结在焊芯上
稀渣剂	萤石、长石、钛铁矿、钛白粉、锰矿	改变焊接熔渣的粘度和流动性
粘塑剂	云母、白泥、钛白粉、滑石粉	改善涂料的塑性和滑性

表4 国产焊条药皮的型号和类型

型号	T××0	T××1	T××2	T××3	T××4
药皮类型	不属于规定类型	钛型	钛钙型	钛铁型	氧化铁型
型号	T××5	T××6	T××7	T××8	T××9
药皮类型	锰型	稳弧低氢型	低氢型	石墨型	盐基型

表5 常用结构

焊条牌号	符合国标	药皮类型	焊接电源	焊 缝 金		
				C	Mn	Si
结421	T 421	钛 型	交直流	≤0.12	0.30~ 0.60	≤0.35
结422	T 422	钛钙型	交直流	≤0.12	0.30~ 0.60	≤0.25
结423	T 423	钛铁矿型	交直流	≤0.12	0.35~ 0.60	≤0.20
结424	T 424	氧化铁型	交直流	≤0.12	0.50~ 0.90	≤0.15
结425	T 425	锰 型	交直流	≤0.12	0.60~ 1.0	≤0.20
结426	T 426	低氢型	交直流	≤0.12	0.50~ 0.80	≤0.50
结427	T 427		直 流			
结502	T 502	钛钙型	交直流	≤0.12	0.50~ 0.90	≤0.30
结502铜磷						
结503	T 503	钛铁矿型	交直流	≤0.12	0.50~ 0.90	≤0.30
结506	T 506	低氢型	交直流	≤0.12	0.80~ 1.30	≤0.65
结507	T 507		直 流			≤0.50
结507铜磷			直 流			
结553		钛铁矿型	交直流	≤0.12	0.60~ 1.20	≤0.30
结556	T 556	低氢型	交直流	≤0.12	0.90~ 1.50	0.30~ 0.70
结557	T 557		直 流			
结606	T 606	低氢型	交直流	≤0.12	1.00~ 1.60	0.30~ 0.70
结607	T 607		直 流			
结707	T 707	低氢型	直 流	≤0.12	1.20~ 2.00	0.30~ 0.80
结857	T 857	低氢型	直 流	≤0.20	1.20~ 1.80	0.40~ 0.80
结857路				≤0.12		0.20~ 0.60
结107				≤0.20		1.50~ 2.30
结107铬	T 107	低氢型	直 流	≤0.15	1.40~ 2.00	0.30~ 0.70

钢焊条一览表

属 化 学 成 分 (%)					主 要 用 途
S	P	Mo	Cr	其它	
≤ 0.035	≤ 0.05				焊接一般低碳钢结构
≤ 0.035	≤ 0.05				焊接较重要低碳钢结构和同强度的普低钢结构
≤ 0.035	≤ 0.05				焊接较重要低碳钢结构
≤ 0.035	≤ 0.05				焊接较重要低碳钢结构
≤ 0.035	≤ 0.05				焊接一般低碳钢结构
≤ 0.035	≤ 0.04				焊接重要低碳钢与某些普低钢结构
≤ 0.035	≤ 0.05 0.06~ 0.12			Cu 0.20~ 0.50	焊接 16Mn 等普低钢结构 焊接普低耐腐蚀钢结构
≤ 0.035	≤ 0.05				焊接普低钢一般结构
≤ 0.035	≤ 0.04 0.06~ 0.12			Cu 0.20~ 0.50	焊接重要中碳钢和普低钢结构。结 507 铜磷 焊接普低耐腐蚀钢结构
≤ 0.035	≤ 0.05				焊接普低钢一般结构
≤ 0.035	≤ 0.04				焊接中碳钢及普低钢结构
≤ 0.035	≤ 0.04	0.15~ 0.40			焊接中碳钢及相应强度等级的低合金高强度钢
≤ 0.035	≤ 0.035	0.30~ 0.60			焊接低合金高强度钢结构
≤ 0.035	≤ 0.035	0.80~ 1.20 0.30~ 0.70	0.70~ 1.10	V0.05 ~0.15	焊接低合金高强度钢结构
≤ 0.035	≤ 0.035	0.80~ 1.40 0.40~ 0.80	1.50~ 2.20	V0.08 ~0.16	焊接低合金高强度钢结构

保护熔化金属，防止空气侵入、脱氧和使焊缝金属合金化的作用，因此药皮质量是决定焊接质量的一个主要因素。焊条药皮的组成成分较复杂，每种焊条的药皮配方中，一般由7~9种以上原料配成。

有关焊条药皮的原料种类、名称和主要作用见表3。

目前国产焊条的药皮共有10种型号和类型，详见表4。

表4中的钛型、钛钙型、钛铁矿型、氧化铁型、锰型等五种类型，由于药皮涂料成分不具有强碱性氧化物，主要含对金属起积极氧化作用的氧化铁、氧化锰和氧化钛等化合物，药皮熔化后的熔渣属酸性，所以这五种药皮类型的焊条，统称为酸性焊条。酸性焊条焊接时产生的酸性熔渣，脱氧主要靠扩散方式，因此不能有效地清除焊缝里的硫、磷等杂质，焊缝金属的冲击韧性较低。所以酸性焊条只适宜用于焊接低碳钢和不重要的结构钢。

低氢型药皮成分中，由于不含铁或锰等氧化物，而大理石(CaCO_3)和萤石(CaF_2)含量较多，碱度很大，药皮熔化后的熔渣属碱性，因此含有这种药皮的焊条称为碱性焊条。碱性焊条焊接时产生的碱性熔渣，脱氧主要通过置换反应，并能有效地清除焊缝中的硫和磷，使焊缝的合金元素烧损减少，因此适用于焊接大多数的合金钢。

目前我国生产的焊条品种很多，其牌号是按照焊缝金属的抗拉强度等级和焊条药皮类型来区分的。牌号前加“结”字，表示结构钢焊条，紧接着的第一、第二位数字，表示焊缝金属抗拉强度等级，第三位数字表示焊条药皮类型和适用的焊接电源种类。

有关常用结构钢焊条的名称、药皮类型、焊缝金属化学成分和主要用途见表5。

第二节 劳动卫生特点

手工电弧焊时不仅有强烈的弧光，而且在电弧的高热影响下可以产生大量的电焊烟尘和多种有害气体，因此手工电弧焊的劳动卫生特点是综合性的。

一、电焊弧光

手工电弧焊的电弧温度高达 $3,000^{\circ}\text{C}$ 以上，在此种温度下可产生强烈的电焊弧光，主要是强烈的可见光和不可见的紫外线和红外线。

紫外线是一种波长为 $180\sim 400$ 毫微米的辐射线，和红外线、可见光线一起均属热线谱。具有明显生物学作用的紫外线是波长为 $180\sim 320$ 毫微米波段的中、短波紫外线。手工电弧焊焊接电弧形成的紫外线波长，一般在 230 毫微米左右，这个波长可以透过人体的皮肤角化层，被深部组织和真皮吸收，并且能损伤眼结膜和角膜。

红外线的波长为 $760\sim 15,000$ 毫微米，手工电弧焊时可产生全部上述波长的红外线。红外线波段越短，对机体的作用越强。长波红外线可被皮肤表面吸收，使人产生热的感觉。短波红外线可被组织吸收，使血液和深部组织加热，产生灼伤。眼睛长期接受短波红外线的照射可产生红外线白内障和视网膜灼伤。

二、电焊烟尘

手工电弧焊时由于焊条和母体焊件，含有不同合金元素和各种化合物，在焊接电弧的高温作用下，发生一系列的复杂冶金反应，并且熔化金属产生沸腾和蒸发，因而除以气溶胶状态，析出多种有害气体外，同时还产生大量的电焊烟尘。

不同工作地点或不同工件焊接时的发尘量和空气中的烟尘浓度，可有较大的差别，这往往与焊条的种类、焊接操作时间长短、同一时间焊接的焊枪数目、焊接电流强度、操作场所的容积和通风等情况有密切关系。

碱性焊条的发尘量一般高于酸性焊条的发尘量。实验证明焊接 0.5 公斤“结 422”型酸性焊条产生的烟尘量为 3.52 克，而焊接 0.5 公斤“结 507”型碱性焊条的烟尘量则为 7.82 克。测定空气中电焊烟尘的浓度也同样证明了这一结果。如曾在特制的容积为 2 立方米的实验装置中分别测定 100 克“结 422”型和“结 507”型焊条燃烧时所产生的烟尘浓度，“结 422”型焊条产生的烟尘浓度平均为 477.5 (294.43~643.71) 毫克/米³。“结 507”型焊条产生的烟尘浓度平均为 558.83 (380.20~737.52) 毫克/米³。

碱性焊条发尘量高的主要原因是焊条药皮中含有氟化物。氟化物具有促进发尘量的作用，如在药皮中加入 2% 的氟化锂或氟化钠，每燃烧 0.5 公斤，发尘量为 12 克左右，加入 2% 的氟化钙，发尘量为 8 克，而无氟焊条仅为 4 克左右。

有关现场调查的测定结果证明，在没有局部抽风装置的情况下，在室内使用碱性焊条的单支焊枪焊接时，空气中电焊烟尘浓度分别可达 96.6~246 毫克/米³。采用“结 422”型酸性焊条在通风不良的罐内进行焊接时，空气中烟尘浓度为 168.5~286 毫克/米³，采用“结 507”型碱性焊条时为 226.4~412.8 毫克/米³，以上数字说明使用碱性焊条较之酸性焊条、通风不良的罐、舱内较之一般厂房内空气中的电焊烟尘浓度有明显的增高。另据国外报导，在通风不良容器内焊接，又无通风措施时，焊工呼吸带处的焊尘浓度有时可高达 1,000

毫克/米³。

物理化学分析证明，电焊烟尘是一种无机性烟尘，属于金属氧化物凝聚所成的气溶胶。用滤膜采集电焊烟尘，在2万倍电子显微镜下观察，发现烟尘的微细颗粒，外观呈球状，直径大小不一，粒子中央系以金属氧化物（大多数为三氧化二铁）为核心，周围包有一层无定形矽酸的薄膜。各种类型焊条所构成的烟尘粒子，外观均无明显差异。由于烟尘粒子都带有不同电荷，因此有聚合成群的能力，在电子显微

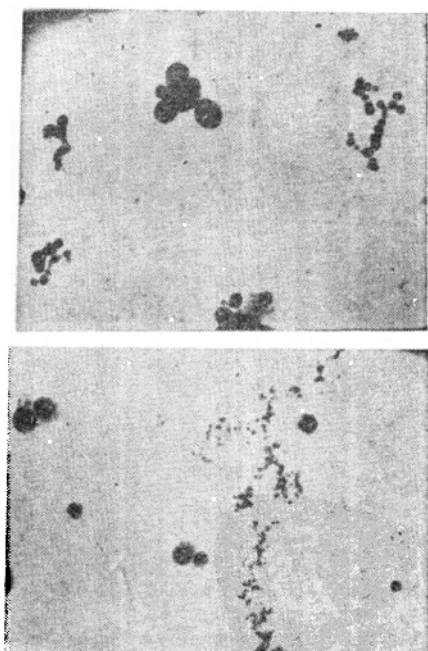


图2 “结507”型碱性焊条焊接烟尘的电子显微镜照片20,000倍

镜下可观察到由几个到几百个粒子聚合在一起的凝聚团（图2、3）。

电焊烟尘的分散度，根据对不同类型焊条的烟尘粒子直径大小的测定结果来看，多数在2微米以下，占60~85%左右。其中90%以上均不超过1微米。2~4微米的，约占15~25%，4~10微米的，约为5~10%。分散度越大，其比表面积也越大，生物学活性也增加。一般认为5微米以下，特别是小于2微米的尘粒，生物学活性较强。

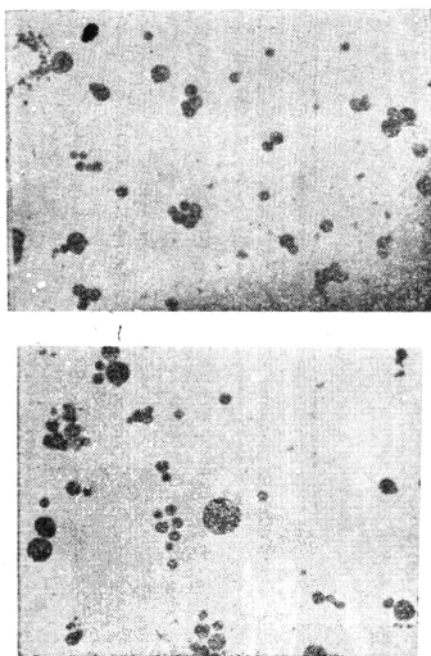


图3 “结 422”型酸性焊条焊接烟尘的电子显微镜照片 20,000倍

在焊接高温下，焊条和母体金属产生复杂的化学冶金反应，因而电焊烟尘的化学组成十分复杂，具有数十种金属和非金属化合物。有关电焊烟尘的主要化学组成见表 6。

表 6 电焊烟尘的主要化学组成(%)

化学组成 焊条种类	低碳钢 低合金钢 (低氢型)	低碳钢 (锰型)	奥氏体 不锈钢 (低氢型)	酸性钛 钙型	碱性低 氢型
	T 427	T 425	TAL-7	结 422	结 507
Fe_2O_3	67.2	81.3	34.8	44.0	24.6
FeO				1.43	—
SiO_2	7.05	4.53	2.38	17.7	5.89
MnO_2	4.20	5.50	52.10	7.26	6.35
K_2O	—	—	—	6.15	—
Na_2O	—	—	—	5.15	17.5
CaO	—	—	—	1.0	4.6
KF	21.2 [△]	—	—	9.5	6.19
CaF_2	—	—	—	—	16.05
NaF	—	—	—	—	13.15
CrO_3	0.013	—	0.087	—	—
TiO_2	—	0.38	—	—	—
NiO	—	—	1.45	—	—

注：△为总氟量

从表 6 中可以看出，铁化物、锰化物、矽和矽酸盐、氧化钙、氟化物等，约占全部电焊烟尘总量的 80% 以上。酸性焊条的电焊烟尘中不含或含少量氟化物，而碱性焊条的电焊烟尘中氟化物可高达 15% 以上。