

第三十一章 铝及铝合金焊接的职业健康和烟尘危害

第一节 铝及铝合金焊接的职业健康安全要求

焊接操作者面临着随时可能发生的火灾、爆炸、触电、灼烫、高处坠落和急性中毒等危害，以及弧光、电焊烟尘、有毒气体、高频电磁辐射、射线、噪声和热辐射等有害因素的影响，容易发生工伤事故和职业危害，并造成环境污染。

在焊接安全技术和劳动卫生防护工作方面，我国焊接、医务及环保工作者做了大量的工作，颁布了相关的法律法规，制定了相应的政策和规章，并在生产实际中监督实施，以保障焊接员工的身体健康。

早在 1965 年，国务院“关于加强企业安全工作的规定”中就明确提出，焊工是特殊工种，必须进行专门的安全技术训练，经过考试合格后，才准许操作。

1979 年，国务院批准国家劳动总局、卫生部《关于加强厂矿企业烟尘防毒工作的报告》，指出“重点企业要在 3 年内消除电焊粉尘、锰、臭氧、氧化氮、弧光等对工人的危害”。

1988 年，首次颁布了《焊接与切割安全》国家标准 GB9448-1988。1999 年修订后作为强制性国标再次颁布实施。

1996 年，颁布了《车间空气中电焊烟尘卫生标准》国标（GB11194-1996），确定焊接烟尘的最高允许浓度为 $6\text{mg}/\text{m}^3$ 。

2007 年，颁布了我国《工作场所有害因素职业接触限值》GBZ2-2007 相关规定，确定了各种有害气体及粉尘的接触限值。对焊接中产生的有害气体规定了加权平均容许浓度分别电焊烟尘（总尘） $\leq 6\text{mg}/\text{m}^3$ ，铝、氧化铝、铝合金粉尘（总尘） $\leq 3\text{mg}/\text{m}^3$ ，臭氧 $\leq 0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，二氧化氮 $\leq 5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

职业接触限值是指劳动者在职业活动过程中长期反复接触对机体不引起急性或慢性有害健康影响的容许接触水平。因此，在从事铝合金焊接的环境必须通过各种方法来治理焊接过程中产生的有害气体及粉尘，满足职业健康安全的要求。

第二节 焊接烟尘的产生机理

焊接烟尘是焊接区蒸发出来的金属及其冶金反应物蒸汽远离焊接区后凝结而成,以气溶胶的形态存在。蒸汽在焊接区附近先凝结成一次粒子,一次粒子随着温度的降低再凝结成二次粒子,然后按一定的方式扩散出去,而且在这些粒子的形成过程中又有着复杂的中间过程。

焊接烟尘的形核机制主要有两种:均质形核与非均质形核。常用焊条下,试验证实 0.1 μm 量级粒子主要分为尖晶石型和氟化物型两类,均以蒸汽到粒子转变所形成;1 μm 及更大一些的粒子主要以气泡到粒子转变机制所形成。

焊后烟尘粒子的长大以凝并为主,凝并主要有两种方式:聚集型和融合型。焊接烟尘由电弧区产生以后,在分散于空气的过程中发生了不同程度的凝并和聚集。对焊接烟尘粒子的直接采样电镜观察,烟尘粒子主要有两种形式的长大过程,一种是熔合过程,它是由几个焊接烟尘的一次粒子熔合成单个大粒子的过程,一次粒子之间无明显边界,这种熔合的主要特征是熔合后的单个大粒子的总表面积小于一次粒子的表面积之和;另一种是聚集过程,它是由几十个甚至几百个一次粒子聚集在一起的过程,就像是一串葡萄,一次粒子靠表面粘连在一起,并有明显边界。当小粒子熔合时,较小的粒子消失,留下的只是新的更大粒子;而小粒子聚集在一起时,小粒子保持其个体身份,但失去动力性质上的独立性,无论是发生粒子熔合还是聚集,都会引起烟尘中粒子大小、形状以及数量浓度的变化。

第三节 焊接烟尘的成分及危害

有害于健康的气态和颗粒状态物质(包含气体、烟雾、灰尘等)统称为有害物质。由焊接及相关工艺过程中产生的有害物质的存在形式有气态和颗粒状态两种,颗粒状态物质以微小的固体颗粒弥散在空气中,根据尺寸大小对焊接及相关工艺过程中产生的悬浮颗粒的分类见表 31-1。

表 31-1 根据尺寸大小对焊接及相关工艺过程中产生的悬浮颗粒的分类

可吸入物：烟尘总体				
通过呼吸进入：粉尘				
焊接烟尘				
钎焊烟尘				

0.01 μm	0.1 μm	1 μm	10 μm	100 μm	(0.1mm)
通过呼吸进入				不可通过呼吸进入	

在焊接及相关工艺过程中的有害物质是在焊接、切割及相关工艺过程中产生的，取决于采取的焊接形式以及所用的焊接材料，是一种可吸入的空气污染物质，悬浮在空气中的颗粒非常小，一般尺寸小于 1 μm ，根据对某厂地铁车体厂房铝合金焊接烟尘的测定：粒径 0.1—0.28 μm 占到总量的 79%（<0.1 μm 11%，0.1 ~ 0.2 μm 43%，0.24 ~ 0.28 μm 25%），因此是“可呼吸的”，并称之为焊接烟雾，铝合金焊接中产生的有害气体及粉尘的危害叙述如下。

一、气态有害物质

1. 一氧化碳 CO

CO 是一种非常有利的无味气体，它能阻碍血的载氧能力，使细胞组织缺氧，当呼吸区的 CO 质量浓度达到 150 ml/m³ 时，就会产生眩晕、疲劳和头痛；达到 700 ml/m³ 时，会导致昏厥、脉搏和呼吸率增加，最后失去知觉，呼吸停顿，心跳停止和死亡。

2. 氮氧化物

氮的氧化物有 NO 和 NO₂ 两种，NO 是一种无色有毒气体，NO₂ 是棕红色的有毒气体。NO₂ 的毒性比 NO 大得多，甚至在质量浓度相当低时就具有刺激作用。初期感到刺激气体存在，呼吸困难，4~12h 后逐渐出现恶心症状，最后出现致命的肺水肿。

3. 臭氧 O₃

O₃ 在高浓度下是一种带有刺激性的强毒性深蓝色气体，它对呼吸器官和眼睛有刺激作用，能引起喉咙刺激、呼吸困难，并可能导致肺水肿。另外还可能有潜在的致癌作用，已被列为第三类致癌物质。

在铝合金焊接中采用 MIG 焊和 TIG 焊，会产生大量的臭氧，通常臭氧含量会超过国家标准 20 倍，甚至高达 100 倍，严重危害员工健康。

4. COCl₂

COCl₂ 是一种带有霉烂味的有毒气体，接触者接触（3~8h）会出现轻微的症状，随后严重刺激呼吸道，最后导致肺水肿。

5. HCN

涂层材料产生的气体，HCN 是一种带有苦杏仁味、非常弱且非常不稳定的氢氰酸，但它是作用最强、最快的毒气之一，它的危害类似于 CO，可以极大地阻碍氧在血中的运输。

6. CH₂O

CH₂O 是一种带有辛辣味的无色气体，对粘膜具有强烈的刺激作用，能引起呼吸道的发炎并可能引起癌的诱变。

7. TDI

TDI 是甲苯基二异氰酸盐，对呼吸道有强烈的刺激作用，能产生像气喘病的症状，并有可能导致支气管哮喘病发生的敏感性。

二、颗粒状有害物质

1. 对肺产生压迫的物质

对肺产生压迫的物质主要有 5 种：① 铁的氧化物（FeO、Fe₂O₃、Fe₃O₄），长期高浓度地吸入，会导致烟尘在肺中的沉积，引发铁质沉积性**铁尘肺病**。但如果停止接触，肺内的铁质沉积会逐渐消散。② Al₂O₃ 会导致烟尘在肺中的沉积，在某些情况下会发生**铝尘肺病**。但停止接触后沉积不会逐渐消散，并对呼吸道产生刺激。③ K₂O、Na₂O、TiO₂ 三种氧化物都会导致烟尘在肺中的沉积，故被列入对肺产生压迫的物质。

铝及铝合金焊接时，焊工长期吸入含铝化物为主的有害物质，如烟尘和有害气体（臭氧、氮氧化物等），可能引起铝尘肺病。

2. 有毒物质

有毒物质主要有 7 种：① 锰的氧化物（MnO₂、Mn₂O₃、Mn₃O₄、MnO），质量浓度高时，对呼吸道有刺激作用并导致肺炎，长期接触能损害神经系统从而导致麻痹症。② 氟化物（CaF₂、KF、NaF、其他）质量浓度高时，对胃粘膜和呼吸道粘膜产生刺激，长期吸入且多量时，可导致对骨的慢性损害。③ 钡化物（BaCO₃、BaF₂）在烟尘中主要以水溶性形式存在，吸入后对人体有危害；当可溶性钡超过**最大允许值**时，会有少量钡的积累，在某些情况下导致人体组织缺钾。④ 氧化铅。可能导致血和神经的中毒。⑤ 氧化铜、氧化锌。吸入它们的烟尘可引起中毒性“发热”。⑥ 五氧化钒，有毒并对眼睛和呼吸道有刺激作用。当质量浓度高于 MAK 值时，会导致肺功能的损害。

3. 致癌物质

被列入致癌物质的主要有 5 种：① 六价铬化物，铬酸盐形式的六价铬化物和 CrO₃ 对人体有致癌作用，尤其对呼吸器官致癌较敏感。六价铬化物对粘膜也有刺激和腐蚀作用。② 氧

化镍（NiO、NiO₂、Ni₂O₃）。对呼吸道有致癌作用。③氧化镉（CdO）。它有强烈的刺激作用，类似于亚硝酸气体，可导致严重的肺水肿。④氧化铍（BeO）。通常有强毒性，含有Be的烟尘对上呼吸道有严重的刺激作用，出现急性金属烟尘中毒性发热，可导致慢性呼吸道发炎。⑤氧化钴（CoO）。当质量浓度较高时，对呼吸系统有危害。

三、电弧焊有害物质引起的典型健康损害

1. 电焊工尘肺

X射线形态学和病理组织学研究成果证实，电焊工尘肺既不是铁粉末沉着症，也与矽肺不同，而是焊工吸入以氧化铁为主，同时混有氧化锰、二氧化硅和氟化物等混合烟尘和气体，长期慢性综合作用所致的一种混合性尘肺。电焊工尘肺对肺器官产生轻度损害，肺部形成的纤维化组织是一种不可逆病变。电焊工尘肺的发病比较缓慢，发病工龄大都在15~20年以上，但也有5年以下的发病者。电焊工尘肺临床症状一般较轻，主要表现为胸闷、胸痛、气短、咳嗽和咳痰等；严重者可因肺气肿或支气管扩张而咯血。在患者胸部X光照片上，呈网状阴影，个别病例晚期出现块状阴影，胸膜改变较小，并发肺结核较少，约为2%~3%。

2. 氟中毒和电焊烟热

氟中毒是长期吸入含氟量很高的烟尘所引起的一种骨质硬化的病变，也就是通常所说的氟骨症。长期使用碱性焊条，吸入可溶性氟化物烟尘，还会出现上呼吸道刺激症状，最初的症状是口渴、咽喉痛；严重时午夜前后身体发热，下半夜体温恢复正常，第二天四肢无力，出现所谓电焊烟尘热。

3. 锰中毒

在一些使用高锰堆焊焊条的作业中，长期吸入高浓度锰的烟尘，可发生锰中毒。锰中毒一般呈慢性过程，初期症状为头晕、头痛、失眠、记忆力减退、疲乏无力及关节酸痛等，严重时四肢不灵、走路艰难、书写困难等。

四、氩弧焊引起的健康损害

健康影响调查表明，氩弧焊有害物质对健康的影响，比焊条电弧焊更强烈，其典型健康损害主要有以下两种。

1. 神经衰弱症与呼吸道刺激症

氩弧焊工吸入臭氧和氮氧化物，常常出现头晕、头痛、失眠多梦、疲劳无力等神经衰弱症候群，同时还有胸闷、胸痛、咳嗽、不思进食等呼吸道刺激症。严重时可发生肺水肿和支气管炎。

2. 氩弧焊工尘肺

长期从事铝及铝合金的氩弧焊工，可能遭受所谓氩弧焊工尘肺损害。这种病变主要是由铝烟尘引起的。在 X 光照片上的特征与前述焊工尘肺一样，即呈现网状纹和结节阴影。

五、CO₂气体保护焊引起的健康损害

CO₂气体保护焊有害物质引起的典型健康损害主要有以下两种。

1. 神经衰弱症候群

长期吸入低浓度的 CO，可能出现头疼、头晕、四肢无力等神经衰弱症候群。

2. 金属烟热和呼吸道刺激症

长期吸入含锰多的烟尘，可能引起金属烟热和呼吸道刺激症，甚至引起锰中毒。