

# 粉尘捕捉和分离技术在激光焊接 切割中的应用

Wolfgang Uhrmann

(德国凯乐空气净化技术有限公司, 德国 73230)

**摘要:**激光技术广泛运用于不同材料的焊接和切割中,由于切割或焊接中会产生大量的粉尘和烟尘,这种烟尘对工人的健康和整个工作环境都是有害的,因此要使用高效的除尘系统。防火保护措施也是很有必要,应采取一些特殊装置来尽量降低火灾的危险性。尤其是有机或者非金属材料,在激光切割或雕刻当中,会产生粘性的颗粒物和气味,而这些对于普通的除尘系统而言是一个很大的难题。

**关键词:**捕捉元件;高效过滤媒介;防火保护;二级过滤;干式—定量添加系统

中图分类号: TG40 文献标识码: B 文章编号: 1001-2303(2006)05-0010-06

## Application of dust control for laser welding and cutting

Wolfgang Uhrmann

(Keller Lufttechnik GmbH+Co.KG, Germany 73230)

**Abstract:** The application of laser power for cutting or welding different kinds of materials produce a lot of dispersible dust and fume, which are hazard for the health of workers and the whole environment. So a high efficient dust removing system should be used. The fire prevention is necessary, and it needs special devices to minimize the fire hazard, especially for organic or non-metallic materials, they generate sticky substances and odour during cutting or engraving by laser power which is a problem for regular dust removing systems.

**Key words:** capturing elements; high efficiency filter mediums; fire prevention; second stage filter; dry-additive precoating system

### 1 捕捉设备内的有害物质

通常,切割速度是由被加工金属板材的强度和重量来确定的,但同时也取决于所安装的激光头功率(一般为 0.2~3 kW)。由于激光束具有极高的温度,一部分金属被蒸发,其他的金属被熔化并从切割缝隙吹出,从而产生了一种含有气态、液态和粗颗粒物质的混合物和熔渣,如图 1 所示。

通过对测量结果的多次分析显示,割缝中有 80% 的金属转化成了熔渣和粗颗粒状物质,并掉落在切割平台下面;剩下的 20% 转换成了高分散度的粉尘和烟尘,这些粉尘和烟尘都必须用排气系统收集和排走。

在很多实际情况下,先要在要切割的金属板上喷洒一层油,以避免金属熔渣在板材上板结,但这会导致一部分油层被燃烧或者蒸发,这种蒸汽状物质



图 1 激光切割时的烟尘产生状况

会在抽风时一同被抽掉。

为了确定排风量,对于不同形式和大小切割台,整个敞开面的截面流速大约在 1~1.25 m/s。而对于大型的切割台,为了避免使用非常大的排风量,把切割台分成几个抽风栅格,通过风门和相应的管道系统来控制,实现了在缩减抽风量的同时,改进对烟尘的捕捉效果。从运行经济性和设计角度考虑,这是一项首选的技术;从技术角度考虑,为了防止激光透镜和设备被粉尘污染,进行抽风捕捉是相当重要

收稿日期: 2006-04-11

作者简介: Wolfgang Uhrmann(1945—), 硕士工程师, 凯乐公司上海代表处总经理。



的;从劳动健康的角度考虑亦是如此。生产中经常需要加工不锈钢,特别是不锈钢与高含量重金属组成的合金,如镍、铬等的 MAK(岗位最大允许的粉

尘浓度)非常低。因此,为了工业安全,最大程度地捕捉、收集和分离这些污染物是非常重要的。

常用金属合金 AGW 值如表 1 所示。

表 1 常用金属合金 AGW 值

材料	可能在以下加工工艺中产生	AGW /mg·m <sup>-3</sup>	瞬间极限值 /mg·m <sup>-3</sup>	瞬间加权值 /min	每班出现的次数
氧化铝 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	铝的焊接和切割	3	2	15	4
钡化合物	用含钡的焊丝和电极焊接	0.5	2	15	4
氧化铍 BeO	铍及其化合物的焊接和切割	0.002*	—	—	—
铅 Pb	铅、铅涂层或者刷有含铅油漆金属的焊接	0.1*	2	15	1
镉 Cd	镀镉金属焊接,镉金属喷镀	0.03*	—	15	—
三氧化铬 CrO <sub>3</sub>	含铬金属的焊割(如 CrNi 钢),有涂层金属(像绿色的氧化铬用于防锈)的焊接	0.1*	2	15	4
铬(VI)化合物(铬酸盐) (按 CrO <sub>3</sub> 在总尘量中计算)	含铬金属的焊割(如 CrNi 钢),有涂层金属(像绿色的氧化铬用于防锈)的焊接	0.1*(手工焊), 0.05*(所有其他加工)	2	15	—
钴及其化合物 (按照 Co 在总尘量中计算)	用含钴的焊接添加料进行补焊/堆焊	0.05*	—	—	—
氧化铁,FeO <sub>n</sub> ,Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 和其他	钢铁的焊接和切割	3	2	15	4
氟化物(按照氟计算,F <sub>2</sub> )	用含氟的助熔剂和基本电极的焊接	2.5	2	15	4
铜 Cu(粉尘/烟尘)	含铜材料的焊接和切割	0.1	2	15	4
氧化镁 MgO	金属弧焊	3	2	15	4
锰 Mn	锰含量很高的钢材焊接和切割	0.5	1	—	—
钼化物(按照 Mo 计算)	含钼材料的焊接和切割	3	2	15	4
镍,Ni 镍化物,NiO 和其他 镍合金	含镍材料的焊接和切割,用纯镍或者以镍为基本元素的材料进行补焊	0.1*	—	—	—
二氧化钛 TiO <sub>2</sub>	含钛助熔剂电极的弧焊	3	2	15	4
氧化锌 ZnO	锌,黄铜或类似材料的焊接,镀锌或者是有锌漆层钢材的焊接,锌金属喷镀	1	1	—	—
锡化物,无机物	青铜的焊接和切割	3	2	15	4

说明:AGW 为岗位最大允许的灰尘排放浓度;\* 为致癌的或是有致癌的潜在危险。

由于除尘器通常是作为激光设备的一个整体配套部件放置于车间内,过滤后的空气直接排放在车间内,因而必须采用高效过滤系统,以满足过滤后干净空气的粉尘浓度要求。提供使用设备的检测报告和系统验收报告,对安全运行有很大的帮助。

## 2 最优化的抽风量和气流组织

现在,庞大激光设备和除尘器的时代已经过去了,抽风量的选定要尽可能小,以实现一体化的简洁结构形式和有市场竞争力的价格。

抽风量的最小化意味着对切割平台更好的、更符合流体力学原理的正确结构设计。如前所述,将切割平台分割成几个格栅(当使用移动激光头时),每个格栅的大小是按照比较理想的捕捉效果的实际需要,即单个格栅风量在 1 000~1 500 m<sup>3</sup>/h 来设计的。

根据激光镜头所在位置,每个平台格栅上的抽风接口是通过气门来打开和关闭的,如图 2、图 3 所示。在特殊的情况下,会同时打开 2 个格栅,例如当切割头刚好到达 2 个格栅中间时。

由于存在产生强力碰撞和夹带火花的危险,因而在所有的接口或连接处要避免出现锋锐的边缘,这样不仅对增加系统运行的安全性有帮助,而且有助于降低抽风阻力。



图 2 隔栅式的切割平台侧面

专题讨论——卫生与安全



图 3 抽吸风量的确定决定了整套除尘系统的规模

切割平台内部管道内的风速应该低于 12 m/s, 在抽风区域的风速甚至应低于 8 m/s。倾斜的吸风口可以保护烟尘在管道内的沉积, 附加的金属板可以提高运行的安全性。

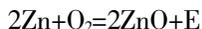
虽然在抽风运行中, 在一个较大截面上的气流分布相对较为简单, 但在紧急或特殊情况下仍然需通过适当的措施进行微调, 特别是当切割台的边缘和抽风点相距很远时, 最好是通过试验找出最佳值。

### 3 通过对捕捉元件和气流组织有针对性的特殊设计, 达到最优化的防火保护

在激光切割和焊接系统中可能引起火灾的原因有多种, 即使采取了防护措施, 利用更好的火花预分离器原理, 在安装在预分离器后的除尘系统内仍然有可能发生火灾。引发火灾的原因有以下几种。

(1) 在切割镀锌钢板时, 除尘系统内的锌粉尘会大量聚集, 这种锌粉尘不仅会产生氧化物, 在一定条件下, 还有可能形成纯的锌粉(例如当用氮作为切割气体时), 在氧化过程中, 会因热能的释放粉尘被加热, 当这种加热到达一定程度时, 有机化合物可能被引燃。

如 1000 g Zn+246 g O 氧化产生 1246 g 氧化锌。在这个氧化过程中, 会释放 5 390 J 的热量,



(2) 在切割铝时, 切割槽中不仅产生铝的氧化物, 还有纯铝, 特别是当用惰性气体或者是氮气作切割气体时。铝粉末和氧化的铁粉末发生置换反应, 释放出大量的热量, 这就存在着火灾风险, 在极端的情况下甚至可能发生爆炸。

如 1000 g Al+889 g O 燃烧会生成 1 889 g Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 而在此过程中会释放出 31 000 J 的热能,



(3) 含油的压缩空气。虽然在操作手册中特别指出用来反吹过滤元件的压缩空气不能含油或含水,

然而在实际当中总发现, 为了简化程序, 会直接从大量含油的压缩空气管路上(由压缩空气气缸驱动的)直接接管子出来。由于含油的压缩空气是在滤芯的干净空气一侧进行脉冲反吹, 因而会充盈在透气的 PE—刚性基体内。而一旦有火花进入, 就会使滤芯着火。

(4) 通常, 要切割的金属薄板都会被喷上油, 油在切割槽区域蒸发后会和金属烟尘一起抽走并在除尘器内被分离出来。油蒸汽附在过滤粉尘上, 使得大量含油金属粉尘累积, 一旦火花进入除尘器内部落入灰桶内就会引起火灾。

(5) 在实际生产中, 除了加工钢板之外, 同一台切割机还会用来切割橡胶或塑料等其他材料。除尘系统可以短时间的处理这些材料的粉尘, 然而这同时也意味着灰桶内可燃粉尘的浓度升高了。所以, 当以后再加工钢板的时候, 又会由于火花的进入存在火灾隐患。

(6) 有时切割不锈钢时也会将板材表面的保护膜一起切掉。我们观察到, 这层保护膜会在切割过程当中或之后熔化, 掉入切割台内。如果整个抽风面积比较大的话, 即使流速相对较低, 这种可燃的碎膜片也很容易被抽走, 对除尘系统而言, 这就意味着火花或火源的进入。

(7) 尽管提出了许多警告和采取了保护措施, 却总是不能完全排除有废纸落到切割台里的可能性。一旦激光束停到相应的位置, 碎纸片就会自然燃烧起来, 从而不可避免地会有火花或者火源进入除尘系统。一旦控制不住事态, 火灾则有可能蔓延到厂房或者机床内。以上这些现象是很危险的, 必须有针对性地采取措施和计划来提高安全性。

除了可以通过设备的细节阻止火花的吸入外, 也可以通过简单的方式安装一个粗颗粒粉尘机械式分离器。在许多情况下, 会在这个分离器后面的除尘器内安装多层气流转向板, 通过快速降低气流速度, 将一些粗颗粒的粉尘预先分离出来。例如, 在 KELLER LUFTECHNIK 的 L-CUT 除尘器中就安装了一体式的导流通道作为火花预分离器, 如图 4 所示。

在切割含油的板材时, 随着除尘器内油成分的增加, 燃烧的风险也会上升。而一旦有含油的尘饼进入除尘器, 燃烧的潜在危险就更大了, 因此一定要注意通过自动反吹系统尽可能地保持滤芯表面干净(见图 5)。现代化的过滤系统把这些要求都已经考虑进去了, 除了在主机的内部装有火花预分离器外, 还有通



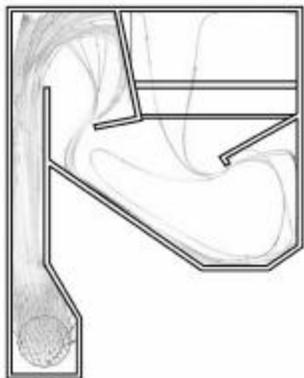


图 4 一体式的火花预分离器——气流速度分配

过低速沉降气流形成的很好的气流分布。而过滤介质本身,特别是对于超细粉尘,追求的是一种绝对的表面过滤,所以另一方面,这种过滤方式本身就是构成过滤表面粉尘积累量最低的基础,从而又可以降低燃烧风险。



图 5 附着在滤芯表面的粉尘

## 4 过滤系统的最佳设计

对于除尘器的结构设计,除了要详细了解要过滤的有害物质的组成外,还应了解除尘设备工作的条件范围。

(1)污染物浓度。根据激光设备型号、所要切割或焊接的材料以及切割的直径,原气(未过滤的含尘气体)的粉尘浓度可能达到  $30\sim 100\text{ mg/m}^3$ (这个值适用于金属加工)。

(2)粉尘颗粒的大小。在激光切割和焊接的操作中,根据所加工的材料和切割功率,金属氧化烟尘的粒径均值一般为  $0.3\sim 0.5\ \mu\text{m}$ 。由于这种粉尘表面的附聚作用很差,因而在设计过滤面积时一定要考虑到粉尘粒径和附聚力这两个参数。

(3)污染物的组成。取决于所要切割和焊接的材料。在金属加工中产生的污染物大部分是金属氧化

物,碳氢化合物来自要切割的金属薄板上的喷淋油;在加工非金属物质时,如塑料、木材、纺织物等,其污染物的组成非常复杂。

(4)废气温度。通常,在切割台下排出的空气温度稍微高于周围环境的温度。

(5)工作循环。机器的运行模式在决定过滤器的尺寸时非常重要,例如 1-2-3 班轮班操作或者是间隔操作,极端的情况是 24 h 运行。在设计一个需要长时间连续运行的过滤系统时,必须考虑过滤表面、过滤空间、在线还是停机垃圾废物处理等。

对上述参数,所选用的除尘系统即使在粉尘量波动很大的情况下,也要保持稳定的风量。因为大部分过滤完的干净空气会回流到车间(见图 6),所以过滤之后空气内的粉尘含量尽量控制在  $0.1\text{ mg/m}^3$ ,才能达到不锈钢板材加工的相关规范要求。高效过滤器滤芯(滤芯更换的费用非常高)的标准工作时间在 12 000 h 以上。



图 6 实际运行中,除尘器往往被要求与激光系统一起摆放在室内,因而对除尘过滤效果要求较高

## 5 可选择的装置

根据使用目的和要求,整套除尘系统的基本组成还有以下几种不同的可选项。

### 5.1 含尘量监控装置

在某些环境很差的情况下,上级主管部门将要求安装含尘量的监控装置,特别是在加工含有高含量重金属的特种钢材时。

现在,监测余尘量小于  $0.1\text{ mg/m}^3$  的粉尘含量自动控制装置已经开发出来,控制面板如图 7 所示。对于小风量的抽风,例如激光机配套除尘,投入高昂的费用是不经济的。因此,推荐采用根据散光灯原理工作的,并且可以相对可靠地读出  $0.5\sim 1.0\text{ mg/m}^3$  趋值的简单设备,以尽早识别出滤芯的折断或者磨损。

### 5.2 火花监测和灭火系统

火花监测和灭火系统作为二级辅助措施,见图 8。一般来说,过滤系统中的火灾是操作错误的结果,

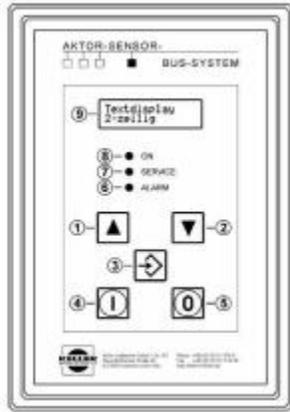


图 7 控制面板



图 8 安装在除尘器外壳的全自动火花监测和灭火系统

而这种操作失误往往又是由含有足够能量的火花无意进入除尘器内引起的。假设有一个金属火花进入,再加上残留油渣和滤芯材料的助燃,过滤室里的温度会升高,并且在洁净空气侧产生非正常的烟尘,探测器均可识别出这两种现象,然后打开二氧化碳灭火筒以隔绝燃烧所必需的氧气。

作为火灾前期的应对措施,火花监测和灭火系统是可行的,但却需要相对昂贵的投资成本(通常的费用相当于甚至超过购买过滤系统的价格),因此,我们采用了一种更为经济、有效的解决措施:预防。即借助有效的火花预分离装置,尽量防止抽风和除尘时火花的进入。

### 5.3 过滤器的压差传感器

压差传感器可以直接显示除尘系统的功能。如果知道风机的运行曲线,由此可监控排风量。这个风量的监控对于 MAK/TRK 值的达标是极其重要的,因为它可以反映出有害物质捕捉的直接数据。但这种监控检测不能显示滤芯损坏,即滤芯断裂的状况。

由图 9 中可以看出,该传感器除了具备压差监控的功能外,还具有其他的电控开关功能,如:可调节的报警上限和下限、除尘器清灰的电子控制系统等。

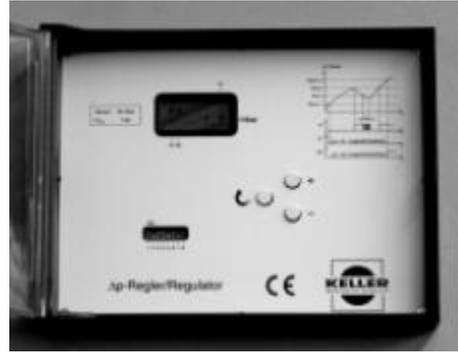


图 9 压差传感器控制面板

### 5.4 用于灰高显示的液位传感器(灰桶内)

当连续切割 10 mm 的厚板,粉尘浓度  $0.5 \text{ g/m}^3$ ,排风量大约为  $1000 \text{ m}^3/\text{h}$  时,粉尘排放量约为  $800 \text{ g/h}$ 。而这种粉尘的视重量取中值大约为  $260 \text{ g/L}$ ,这也就意味着粉尘的排放量大约为  $2 \text{ L/h}$ 。

无论排风量的大小,或者所用激光的设计和结构,高功率切割的过程中(厚 10 mm 板材/2.5 kW 激光输出)的粉尘排放量都要按  $2 \text{ L/h}$  计算。这个值也更加突出了高效过滤系统的必要性。

根据所用的灰桶形式(见图 10)必须每班或者每天清空一次,即使是薄钢板,也必须至少每周清空一次。如果用户不安排专人定期清空,也可以通过液位传感器来尽早显示是要否需要更换或者清空灰桶。



图 10 带粉尘液位标高传感器的灰桶

## 6 用于气味控制的二级过滤系统

很多情况下,在加工非金属材料时,除了分离可冷凝的碳氢化合物的问题外,还会产生或多或少的刺激性气味。这种气味是以分子状态运动,因此,它们仅能被吸收或氧化,不能被过滤系统机械的分离掉。这必须采用表面吸附或者液体冲洗方式,以及通过化学反应、高温或者是氧化催化(臭氧)的方式,具体包括:湿式气体洗涤器、二次热燃烧、氧化、生物清洗、活性炭过滤器。

(1)湿式气体洗涤器可能会产生相当多的二次

问题(水处理),因此,所包含的费用将会更高。用文杜里气体洗涤器的测试结果不是很理想。

(2)二次热燃烧是最有效、但最昂贵的方法。在超过 900 °C 的高温下,气味或者气体成分基本上被完全燃烧或者氧化,但由于高的资金投资和运行成本,不推荐采用这种方式。例如,根据系统类型,一个大约 2 000 m<sup>3</sup>/h 的装置需要 50 000~100 000 欧元。

(3)从理论上讲,将含有气味的废气氧化是可行的,但试验显示,反应过程并不一定按所期望的那样发生。这种方法尝试还处在起步阶段。而且,在没有解决如何经济地获得氧气之前,还不能说这种系统是一个可靠的解决方案。

(4)用生物清洗加工的方法除去气味也是一样。即使生物过滤器已成功应用于其他领域,但由于所排空气中分子结构组成变化很大,而且激光机经常停机,所以存在很严重的问题。而且,生物过滤器所需的空间和保养工作都具有同样的难度——运行费用较低但是投资成本较大。

(5)活性炭过滤器成为了最常用的解决方案。众所周知,活性炭可以吸收分子结构,也可以吸收其自身质量 30% 的污染物。当活性炭饱和时,就必须处理掉,当然也可以再生,只是费用昂贵。

活性炭过滤系统价格较为合理,但是根据其使用寿命,可能会产生相当高的运行和保养费用。树脂玻璃加工的试验显示,16 kg 过滤单元的使用寿命不到一周。

过去的实践显示,当发生此类问题时,如果允许,通常是经过适当的机械净化后将含气味的废气排出,再没有进一步的处理,并且尽可能地利用稀释方法或者是采用高空排放的方法。

## 7 TAV-过程(干式添加过程)

在激光技术应用中,大部分的过滤过程没有辅助过程,即使是在加工油腻的金属板材或者某种特殊的范例时也是这样。然而,一旦可冷凝的有害物质结构所占比例太大,就会导致滤芯表面的堵塞,中断气流通过,甚至在极端的情况,这个过程是不可逆转的。也就是说,即使采用手工清洗滤芯表面,也不能恢复其正确的功能。

在这种情况下,通过在滤芯表面添加辅助涂层,可以保证在上述情况下仍能进行正确有效的过滤。由于有了涂层,被分离的污染物不会直接黏附到滤芯表面上,而是会沉积到滤芯表面作为尘饼的

涂层中。当涂层饱和时,通过一般的过滤反吹清洗就能将涂层吹掉,然后吸上新的涂层。这个过程可以持续不断地进行,即在粉尘进入主机的同时也会将辅助剂一起加入进去,从而让粉尘和辅助剂充分混合。如果不是连续过程,在停机模式下将辅助剂以预涂层的方式添加上去,直到其饱和为止。如果已经饱和了,在停机的模式下,将除尘器先清洗干净然后重新加入新的保护层。

可作添加剂的有玄武岩粉末、石灰石粉末和活性碳粉末。添加剂的精细度系数(相对表面积的计算)非常重要,中值在 5~10 μm 是最合适的。

所需添加剂的用量是根据有害物质的化学组成和分量决定的,必须是污染物质数量的 2~10 倍。最佳的混合比例只能通过试验得出。

对于需要定量给料的有自动添加装置(见图 11、图 12)。此种定量给料装置必须能够跟随整个过滤系统,执行必要的定量给料程序。所以,这就要求辅助剂在给料的过程中,辅助剂一定要以非常细小的方式进入,这对于保证避免大量惰性聚集物进入除尘器相当重要。这个“粉碎过程”对整个系统的正确运行有着举足轻重的作用。



图 11 带干式定量添加装置的除尘系统



图 12 自动化的干式定量添加装置侧面

(注:本文由凯乐公司上海代表处 李 博 译)