氮气在激光切割中的应用

经纬纺织机械有限公司榆次分公司　（山西　030601）　陈连军

CO_2 激光束通过喷嘴照射在材料表面，材料吸收能量后达到熔化状态，辅助气体将液态材质吹走。熔化区域随切割方向逐步移动产生连续的切缝，这就是激光切割。我公司 1994 年在激光复合机 APELIO 357 Ⅱ上开始应用氧气切割。2001 年引进激光切割机 BTL3000 的同时也带来新的加工工艺——氮气切割。采用氮气切割方法，不但提高了切割质量，而且扩大了加工范围。

一、氮气切割的特点

氮气切割的主要优势在于切割质量高，加工范围广，但也存在成本高的缺点。下面通过和氧气切割的比较来详细说明上述特点。

1. 设备简介

BTL3000 激光切割机由瑞士百超公司出品，基本输出功率 3000W，可提供丰富的切割参数，它的高功率使得氮气切割成为可能。氧气切割则不需要高功率也能实现。

2. 切割质量

根据使用的辅助气体，激光切割可分为氧气、氮气两种切割方式。在氧气切割中氧气参与燃烧，熔化位置温度接近沸点。高温导致反应剧烈，无法保证断面光滑；另外加上氧化反应、增大的热影响区，使切割质量相对较差，容易出现切缝宽、断面斜纹、表面粗糙度差及焊渣等质量缺陷。氮气切割中材料完全依靠激光能量熔化，氮气吹出切缝并避免不合适的化学反应。熔点区域温度相对较低，加上氮气的冷却、保护作用，反应平稳、均匀，切割质量高。断面细腻光滑，表面粗糙度低，而且无氧化层。

3. 切割成本

高纯氮的价格是高纯氧的 3 倍。氧气切割气压要求（1～4）$\times 10^5$Pa，氮气则需要（10～14）$\times 10^5$Pa。例如，切割 2mm 厚的不锈钢板，氧气需要压力 4×10^5Pa、耗气量 2.3m³/h，氮气则对应为 14×10^5Pa、15.2m³/h。而且氮气切割时要求高功率，相应增加了能耗。氮气切割的综合成本是氧气切割的 15 倍以上。

4. 加工范围

氧气辅助燃烧增加热量，提高了切割厚度。优势在于低成本，主要应用于碳钢。氮气不辅助燃烧，熔化区域温度较低，适合加工铝、黄铜等低熔点材料。氮气保护切缝不被氧化，还可用于不锈钢的无氧化切割，加工范围见表 1。

表 1　激光切割加工范围

材料	辅助气体	最大切割厚度/mm
碳钢	O_2	16～20
不锈钢	O_2	6～10
不锈钢	N_2	8～12
硬铝	N_2	4～8
软铝	N_2	2～6
黄铜	N_2	3～4

二、氮气切割要素

氮气切割因自身的特点，切割条件和氧气切割有着明显的差异。经过两年多的实际应用，我们通过实践逐步掌握了氮气切割的要素。

1. 气体参数

气压和喷嘴决定了切断面的表面粗糙度、毛刺。适当增加气压有利于排渣，但过大则会增加表面粗糙度值。氮气切割对于气体参数有如下要求：

（1）气压　氮气不参与燃烧，用于吹掉相对温度较低的液态材质，需要（10～14）$\times 10^5$Pa 的高气压。而氧气切割的压力一般不超过 4×10^5Pa。

（2）喷嘴　氮气使用高压，要求较大的喷嘴直径以保证出气量。例如切割 2mm 厚的不锈钢，氧气使用喷嘴 HK10（ϕ10mm），氮气则要求 HK15（ϕ15mm）。

(3) 纯度　氮气纯度对切割质量有很大影响(见表2)，所含氧气影响切割质量。而水分则会对激光器造成危害，因此气体级别至少应保证在4.5级。

2. 切割参数

切割参数、加工程序相互独立，方便了参数的调整。丰富的参数可控制切割过程的各个方面，是决定切割质量的关键所在。氮气切割和氧气切割因加工方式上的差异，对下列切割参数有着不同的要求。

表2　氮气纯度和切割质量的关系

气体级别	气体纯度(%)	氧气含量 $\times 10^{-6}$	水含量 $\times 10^{-6}$	切割断面质量
2.8	≥99.8	≤500	≤20	无氧化，表面微黄
3.5	≥99.95	≤100	≤10	无氧化，没有光泽
4.5	≥99.995	≤10	≤5	无氧化，断面光亮
5.0	≥99.999	≤3	≤5	完全无氧化，断面有光泽

(1) 速度　氮气切割仅仅依靠激光熔化材料，需要时间较长，切割速度较氧气切割慢。

(2) 功率　氮气切割要求高功率保证持续的材质熔化。一律在100%左右。

(3) 焦点位置　氮气切割完全依靠激光能量，焦点下移能够增强光束能量，要求焦点接近板材的底端。氧气切割则要求焦点在板材表面。

(4) 穿孔气压到切割气压的转换时间　氮气切割时穿孔气压为 2×10^5Pa，和切割气压有很大差距。气压陡然上升容易导致激光断弧。提供几十毫秒的缓冲时间使气压平稳过渡，保证切割质量。氧气切割时穿孔气压和切割气压差距很小，不需要提供这个转换时间。

(5) 加速因子　切割改变方向时的加速度。氮气切割时因能量需求增加，所以一般低于1m/s^2，而且随厚度的增加而急剧降低。氧气切割时为一般1m/s^{2}左右，而且不随厚度剧烈变化，而是小幅下降。

三、氮气切割的应用

氮气切割在实际生产中解决了许多加工难题，并且将加工范围扩大到了铝、黄铜等氧气切割很难加工的领域。下面介绍一下它在各种材料、领域中的应用。

1. 碳钢

碳钢使用氧气切割。表面温度因为碳辅助熔化、氧气助燃而非常高。当切割尖锐角、直径小于料厚的孔时，狭小的区域内集中了过多的热量，使切割质量无法保证。氮气不辅助燃烧，加之具有的冷却作用，适合解决这类加工难题，能够提高产品质量。

2. 不锈钢

从成本考虑，切割边氧化不影响使用的不锈钢零件采用氧气切割。但不锈钢中合金元素Ni等的含量较大，熔化物粘度大，流动性差，氧气切割时较低的气压容易导致粘渣等质量缺陷。焊接不锈钢时氧化层严重影响焊接质量，特别是氩弧焊。氮气切割提供的优质无氧化断面，满足了不锈钢焊接对切割断面的高要求。

3. 铝、黄铜

铝、黄铜对激光有着高反射率、低吸收率，要求高功率来熔化材料。而且要配备反射吸收装置，使水平线性波不反射回透镜，来保护激光器的安全。要求氮气切割。

铝的熔点较低，3mm厚以下的可用氧气切割，但质量很差，断面粗糙而且毛刺坚硬。使用氮气切割断面平滑，4mm厚以下能够获得没有毛刺的效果。铝粘性大加上良好的热传导性，熔化物可能没来得及吹走就已经冷却了，所以容易出现毛刺。通过调整焦点，升高气压，降低速度来降低表面粗糙度值，以保证毛刺可轻易清除。

4. 刻蚀

刻蚀是一种特殊切割，能量只有基本功率的5%。它仅对材料表面发生作用，主要用来刻蚀标记。氧气刻蚀温度高，有时表面出现焊渣。集中刻蚀还会因热量集中而损伤零件表面。氮气刻蚀光亮且不损伤表面，可用来刻蚀要求较高的说明文字。

四、结语

氧气切割厚度大、成本低，主要应用于碳钢。氮气的冷却、保护作用提高了切割质量，并且在不锈钢、铝、黄铜的切割中取得良好效果，解决了许多加工难题。

另外，不辅助燃烧的特点还能用来加工木材、有机玻璃等特殊材料，有着广阔的应用前景。

(20040826)