

激光切割工艺

LASERLINE®全球气体解决方案

02

目录

03 前言

04 激光切割工艺

切割工艺类型 用于激光切割的激光器

05 激光切割参数

连续波(cw)或脉冲激光器运行 激光功率和强度 透镜焦距 激光束模式 激光束波长 相对于工件的焦点位置 喷嘴尺寸和喷距 气体类型和压力

12 不同材料的压力和用气量需求

碳钢和低合金钢 不锈钢和其它高合金钢 铝和铝合金 钛 镍合金 铜合金 非金属

19 文献目录

前言



在过去十年中,激光切割已经发展成为一项最先进的加工技术。预计在全球范围内,用于金属和非金属的切割的高功率切割系统超过40,000套。如果把低功率切割应用(例如塑料切割和纸张切割)包括在内,切割系统的数量远不止于此。

现代激光切割应用主要包括:

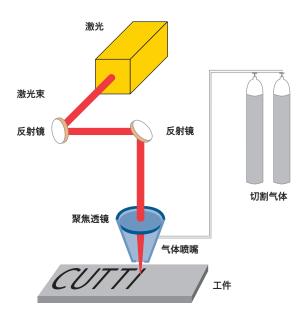
- → 液压成形部件和管切割
- → 薄板金属高速切割
- → 厚截面材料切割

开发具有更高输出功率、同时不降低激光束质量的激光器在过去一直 都是一个重要目标。其它研发工作主要是改进执行系统的驱动技术和 提高切割台上的材料处理能力。 预测认为,基于更高切割速度、更小的工具磨损和无限灵活性的激光切割将进一步取代现有的一些技术。市场调查表明,平板激光切割机的安装数量在接下来的十年中将翻番。此外,激光器制造商将开发新的市场(例如管件和管道切割)。

用于生成激光束和清除切缝中的熔融金属的气体是激光操作过程中的 重要消耗品。气体能够延长光学部件的使用寿命、提高切割速度并且 改进切割质量。所有这些都有助于提高激光系统运营的盈利能力。因 此,本技术信息的目标是帮助激光切割系统的潜在用户熟悉这项技 术,并且提供一些正确使用切割气体的指南。本技术信息中介绍的许 多研究成果是在林德集团应用实验室进行的项目或林德集团发起和赞 助的项目中获得的。

激光切割工艺

图1:激光切割系统原理 (示意图)



切割工艺类型

在激光源中生成通常不可见的几乎平行的激光束,使用反射镜把激光束指向切割头,在切割头使用一个透镜把激光束聚集(聚焦)在一个小光斑上(图1)。根据工艺需要,光斑位于工件表面或待切割材料基体(图1,另外参见技术信息"工业应用激光器")。

强激光束迅速加热工件和熔化材料。使用辅助气体(也被称为切割气体)来保护和冷却聚焦透镜,同时清除切缝中的熔融金属。根据使用的辅助气体不同,可分为两种切割工艺:

- → 在使用氧气进行切割时,激光束将金属材料加热至熔点,材料被局部燃烧和气化。氧与金属之间的燃烧反应产生支持切割工艺的额外热能。由于这些放热反应,在被用作切割气体时,氧能够穿透较厚和表面反射较强的材料。
- → 在使用惰性气体(例如氮或氩)进行切割时,金属材料完全被激光 热量熔化,切割气体将熔融物从切缝中吹除。由于惰性气体不与熔 融金属发生反应并且不产生额外的热量,因此所需的激光功率通常 远远高于在相同厚度的氧切割中所需的激光功率。使用惰性气体进 行切割通常被称为清洁切割或高压切割。

气化切割是另一种切割工艺。在气化切割中,固体材料在不经过液相过程的情况下直接被转化成蒸气。气体可以被用于支持工艺过程、清除蒸气和保护切割光学部件。

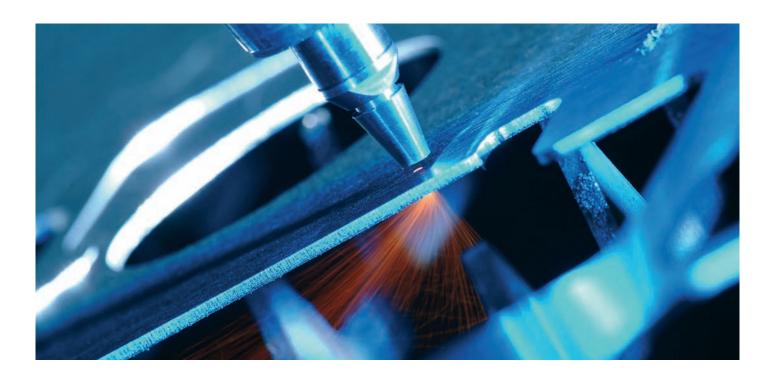
在"冷"切割中,激光束能量切断材料基体的化学键,因而会产生粉状残余物。激光束能量和化学键能量必须相配,此切割工艺通常不需要切割气体。

用于激光切割的激光器

许多激光器可以被用于激光切割,只要它们生成的激光束能够被聚焦在一个小光斑上,具有充分的热量以熔化材料,并且它们特定波长被材料吸收。二氧化碳和准分子气体激光器以及固体激光器(例如Nd:YAG和Yt:YAG激光器)最常用于材料加工领域。

二极管激光器是另一种固体激光器,这种激光器不提供类似的激光束质量和强度,可以被用于非金属材料切割。

激光切割参数



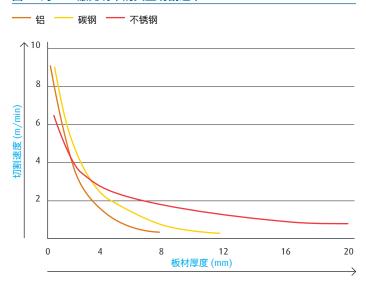
连续波 (cw) 或脉冲激光器运行

连续波 (cw) 模式运行可以在高功率水平上达到最高切割速度。连续波意味着激光功率输出是恒定的,随着时间推移不会中断。

在高速切割中,激光功率几乎被完全用于熔化或气化切口前缘上的材料,相对很少的热量被传导到基底材料中。但是,当切割方向倒转或在锐角周围进行切割时,一些热量将被传导到基底金属中。这将降低进给速率并且导致工件变热,从而导致切割质量降低。

在切割细微结构或在较厚的材料中穿孔时,使用高功率连续波激光器 难以达到合格的切割质量。在这些情况下,脉冲加工能够获得更高质 量的切口。短脉冲中的高峰值功率能够确保高效加热,并且有效清除 切缝中的热材料,同时低平均功率能够保持工件冷却。 在脉冲切割中可以达到的切割速度远远低于使用连续波激光束可以达到的切割速度。为了显著提高脉冲切割质量,通常需要把平均功率降至几百瓦。这经常导致切割速度只有在连续波模式中可以达到的切割速度的10%。在切割金属材料时,峰值功率一般必须在1~10 kW范围内,每一个脉冲必须有足够的时间长度(通常是1~3毫秒)以熔化切割前缘层。

图2:约3 kW激光功率的典型切割速率



激光功率和强度

通常用功率对激光器进行描述(例如1,000 W或6 kW)。激光功率是每秒单位以激光形式发射的总能量。激光束强度等于激光束功率除以功率聚集面积。

例如,把1 kW激光束聚焦在0.1 mm (0.004 in)直径上将产生大约125 kW/mm2的功率密度。

高强度导致材料迅速加热,因此热量消散到周围材料所需的时间也非常短。这样可以达到高切割速率和优良的切割质量。



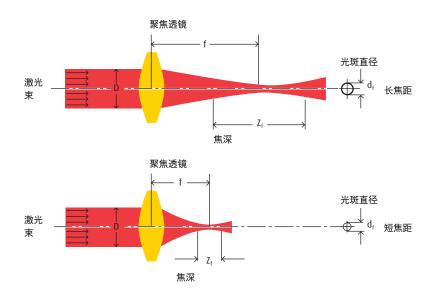
激光强度还决定了能够被切割的厚度。被切割材料越厚,需要的强度越高。强度可以通过提高激光功率或使用更短焦距的聚焦透镜来提高。但是,把激光束聚焦在一个更小的光斑上也将减少焦深,因此不适于厚材料切割。

脉冲和连续激光都可以做到高强度。因此,脉冲切割中的最高峰值脉冲功率或连续切割中的平均功率决定了切割的穿透力。

但是,切割速度取决于平均功率水平。平均功率越高,切割速度越高(图2)。二氧化碳和光纤激光器的强度非常高,可以对薄材料进行连续气化切割。切割厚度为1~1.5 mm的金属可以达到超过10米/分钟以上的速度。切割气体被用于清除金属蒸气和保护聚焦光学部件。由于反应时间非常短,因此气体类型并不重要,使用压缩空气即可。

光纤激光器提供了优良的长距离聚焦能力,这种激光器被用于高速飞行切割,在高速飞行切割中,扫描光学部件被用于在待切割材料上快速移动激光束。由于切割气体无法被长距离应用并且被切割材料自然蒸发,因此不使用切割气体。

图3:激光束聚焦



透镜焦距

透镜的焦距决定了聚焦激光束的形状。最小光斑直径(df)取决于波长(λ)、激光束模式(K)、透镜处的未聚焦激光束直径(D)和透镜焦距(f),公式如下:

$$d_f = \frac{4 \lambda}{\prod} x \frac{f}{D} x \frac{1}{K}$$

以下因素有助于形成小光斑直径:

- → 短焦距 (f)
- → 良好的模式 = 均匀的强度分布 (接近高斯强度分布, K = 1/M² = 1)
- → 短激光束波长 (λ)
- → 透镜处的大激光束直径 (D)

焦深 (Zf) 决定了从透镜到工件的距离变化的容差水平以及能够被切割的厚度,决定焦深的参数与决定光斑直径的参数相同。通常小光斑伴随着浅焦深。

这意味着短焦距透镜将形成小光斑直径和短焦深,通常这样可以达到很快的速度和良好的薄板金属切割质量。但是,有必要仔细控制透镜与工件之间的距离(透镜工作距离)。在切割较厚的材料时,必须选择较长的焦距,从而使焦深适合材料厚度(图3)。由于较长的焦距也会产生较高的焦斑功率,因此必须增大焦距以保持强度和切割速度。

图4:激光束强度分布

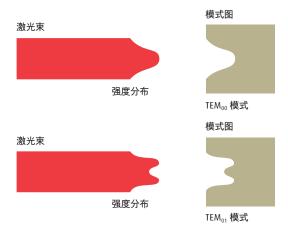
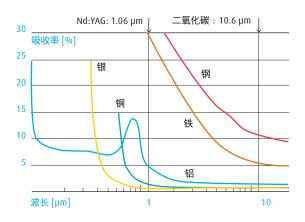


图5:不同材料对不同波长的吸收率



激光束模式

激光束模式是指能量在其截面上的分布(图4,另外参见技术信息"工业应用激光器")。激光束模式对切割工艺也会产生影响:

- → 激光束模式会影响焦斑直径和聚焦激光束强度
- → 激光束模式会影响激光束和焦点中的强度分布从而影响切割质量

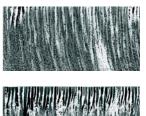
因此,一个良好的模式在激光切割中是非常重要的。最佳模式是高斯强度分布,这是确保最佳聚焦特性所需的模式。高斯模式通常被表示为TEM00(横向零阶电磁模式)。

激光束波长

被切割的材料的热量吸收率取决于激光束波长(图5)。例如,冷钢中对二氧化碳激光的吸收率约为11%,89%的照射被反射,然而对Nd:YAG的吸收率约为30%。Nd:YAG和二氧化碳激光器能够克服许多金属初始的高反射率,只要聚焦激光束强度足够高。吸收率随材料温度升高而显著提高。例如,可见或近红外(Nd:YAG激光器)波长的激光无法被用于切割玻璃,因为激光通过透过玻璃,没有任何能量被吸收

然而一些高反射材料(例如铝或铜)可以比其它材料更好地吸收某些波长,某种特定类型的激光器通常会比其它类型的激光器更适于某种特定应用。相较于波长特性,适用性通常更取决于其它激光参数(例如峰值功率、脉冲长度和聚焦能力)。因此,如果与二氧化碳激光器相比,Nd:YAG激光器可以达到更好的切割质量或更精确,只有在对脉冲Nd:YAG激光器与连续波二氧化碳激光器进行比较时,这样的表述才是正确的。

图6:焦点位置对切割性能的影响





焦点位置: +3.0 mm → 焦点位置过高





焦点位置: -2.5 mm → 焦点位置过低





焦点位置:0mm (表面上)

→ 焦点位置正确

相对于工件的焦点位置

通过激光束聚焦获得的小光斑直径为材料处理提供了高强度。如果偏离焦点(在焦点上方或下方),激光束中的强度也将受到影响而降低。焦深反映了激光束宽度增加和强度降低的速度。较短的焦距将形成较小的光斑直径和较小的焦深。

通常必须比照工件表面,对焦点进行准确定位,焦点位置在加工过程 中必须保持恒定。

激光束腰或焦点(激光束直径最小点)应位于工件表面上(在把氧气用作切割气体时,参见图6)或直至工件材料厚度的75%。高功率激光器的聚焦灵敏度低于较低功率的激光器。某些材料的焦点定位灵敏度也高于其它材料的焦点定位灵敏度。

但是, 焦点位置是一个必须控制的参数以确保最佳切割性能。此外:

- → 材料和厚度变化可能要求改变焦点。
- → 激光束形状或模式变化、冷却水温度变化和透镜污染也可能改变焦点位置。

图7:喷嘴几何形状和喷距

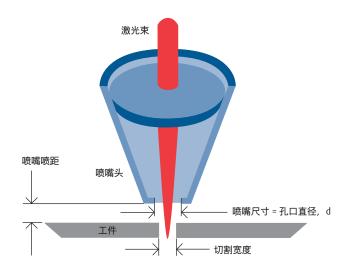
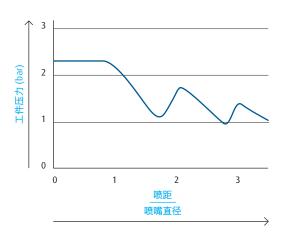


图8:喷嘴参数对切割气体有效压力的影响

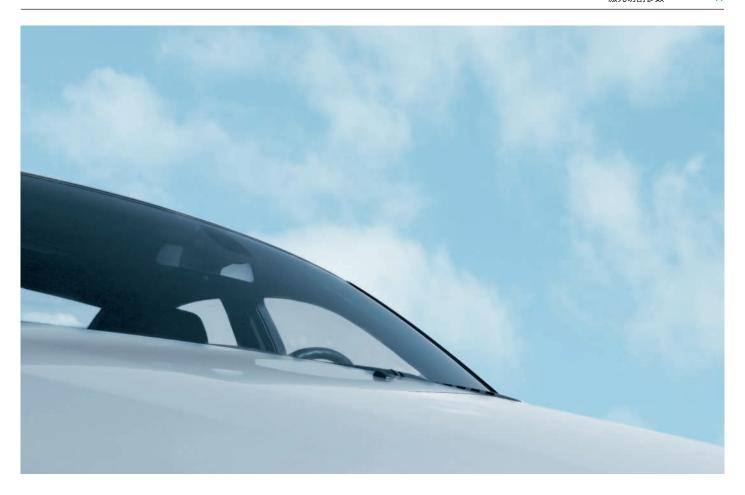


喷嘴尺寸和喷距

气体辅助在激光切割中是不可或缺的。因此,喷嘴的几何形状和喷距是很重要的。激光喷嘴设计和喷嘴流量动态特征与其它热切割工艺存在实质性区别(图7)。这主要是因为喷嘴的紧凑性和喷嘴的直径,喷嘴总是大于在喷嘴下方形成的切缝。因此,在喷嘴形成的气体射流中,只有一部分穿透切缝。

喷嘴喷距取决于喷嘴设计。激光切割应用中的喷嘴喷距应小于喷嘴直径,因为如果距离较大,切割气体射流可能发生湍流和压力变化(图8)。在短喷距中,切缝本身起到喷嘴的作用,喷嘴头几何形状并不是非常重要。如果要求大喷嘴喷距,必须非常仔细地对喷嘴头进行设计,尤其是在喷嘴压力超过2~3bar(30~45 psi)时。

典型的喷嘴直径范围是 $0.8 \sim 3 \text{ mm } (0.03 \sim 0.12 \text{ in})$ 。因此,为了取得最佳切割效果,喷距范围应为 $0.5 \sim 1.5 \text{ mm } (0.02 \sim 0.06 \text{ in})$ 。



气体类型和压力

使用的切割气体对于切割效果是非常重要的。氧气在碳钢和低合金钢中一般具有良好的切割性能。但是,氧气与基底金属发生反应,切口边缘覆盖了一个氧化层。因此,如果可以提供充分的激光功率,越来越经常使用氮切割高合金钢切割。

氮气还越来越多地被用于后续粉末涂覆部件。切口边缘上的氧化物降低涂层与材料之间的结合,因此可能导致腐蚀问题(参见参考文献1,第19页)。

把切割气体从氧气改为氮气需要对切割机设置进行另外改动。以下是 关于切割压力的一些经验法则(详见以下各图表)。

随着激光行业近年来的发展,切割激光器输出功率已经高达8 kW。 因此,越来越多的企业改用氮气切割不锈钢和其它高合金材。由于没有支持激光工艺的放热反应,因此切割气体压力随材料厚度增加而升高。 由于聚焦透镜是气体回路的一个整体组成部分,因此聚焦透镜强度对气体压力有一定限制,老式切割机中的气体压力可能不超过12 bar (175 psi) (取决于透镜材料和尺寸)。但是,现代切割机配备了较厚的切割透镜,可以达到厚截面不锈钢切割所需的较高切割气体压力 (20 bar甚至更高)。

下一节介绍了常用材料及其具体切割参数。

使用氧气切割碳钢的一般规则:

- → 材料越厚,压力越低
- → 最高压力约为6 bar (90 psi)

使用氮切割不锈钢的一般规则:

- → 材料越厚, 压力越高
- → 最低压力约为8 bar (120 psi)

不同材料的压力和用气量要求

表1:碳钢使用氧气进行激光切割的参数(其中包括压力和用气量要求)

材料厚度 mm (in)	激光功率 W	喷嘴喷距 mm (in)	喷嘴直径 mm (in)	氧气压力 bar (psi)	气体用气量 m³/h (scf/h)	切割速度 m/min (in/min)	
0.5 (0.02)	500	0.3-0.6 (0.01-0.02)	0.6-0.8 (0.03-0.04)	3.5-6.0 (50-90)	2.0 (70)	15.0 (600)	
1.0 (0.04)	800	0.3-0.6 (0.01-0.02)	0.6-0.8 (0.03-0.04)	3.5-6.0 (50-75)	1.8 (64)	11.0 (440)	
2.0 (0.08)	1,000	0.3-0.8 (0.01-0.03)	0.6-1.2 (0.03-0.05)	2.5-4.0 (35-60)	3.0 (105)	7.0 (280)	
4.0 (0.16)	1,000	0.3-0.8 (0.01-0.03)	0.6-1.2 (0.03-0.05)	2.0-4.0 (30-60)	2.7 (95)	4.0 (160)	
6.0 (1/4)	1,000	0.5-1.0 (0.02-0.04)	1.0-1.5 (0.04-0.06)	1.5-3.0 (20-45)	3.2 (115)	2.5 (100)	
8.0 (0.32)	1,500	0.5-1.0 (0.02-0.04)	1.2-1.5 (0.05-0.06)	1.5-2.5 (20-35)	3.0 (105)	2.0 (80)	
12.0 (1/2)	1,500	0.5-1.0 (0.02-0.04)	1.2-1.5 (0.05-0.06)	1.0-2.0 (15-30)	2.4 (85)	1.0 (40)	
18.0 (3/4)	2,000	0.5-1.0 (0.02-0.04)	1.2-1.5 (0.05-0.06)	0.5-1.0 (7-15)	1.4 (50)	0.5 (20)	
25.0 (1.0)	4,000	0.5-1.0 (0.02-0.04)	1.5-2.0 (0.06-0.08)	0.5-0.7 (7-10)	1.3 (46)	0.5 (20)	
25.0 (1.0)	6,000	0.5-1.0 (0.02-0.04)	2.0-2.3 (0.08-0.09)	0.5-0.7 (7-10)	1.5 (52)	0.9 (36)	

注:以上数值仅供参考,不同切割系统可能会有差异。

碳钢和低合金钢

使用二氧化碳激光器用氧气切割是最常用的板材碳钢和低合金钢切割方法。比如常用于汽车行业的空心型材和管状结构通常使用由机器人操纵的Nd;YAG激光器切割。

目前,可以方便地使用高达6 kW的激光功率切割厚度高达25 mm(1 in)的板材。焦点位置应接近工件的上表面。表1中包含了一些重要参数的指南。图10显示了气体消耗量。本技术信息中的切割表应仅被视为指南,可能存在差异(取决于激光器类型、激光束输送系统、喷嘴布置和焦点状态)。这尤其适用于型材切割。型材切割速度通常远远低于切割表中的示值,因为执行系统(也就是机器人)无法足够迅速地仿形随动。

在切割厚度不超过6 mm(1/4 in)的板材时,可以使用焦距为127 mm(5 in)的透镜。对于超过6 mm(1/4 in)的材料厚度,应使用焦距为190 mm(7.5 in)的透镜。

在切割厚度为 $12 \sim 25 \text{ mm} (0.5 \sim 1.0 \text{ in})$ 的板材时,要求至少3 kW或更高的激光功率。切割氧压力一般低于1 bar (14.7 psi) ,喷嘴直径较大 $(2 \sim 3 \text{ mm} (0.08 \sim 0.12 \text{ in}))$ 。聚焦点可以位于工件的上表面上方 $1 \sim 3 \text{ mm} (0.04 \sim 0.12 \text{ in})$ 。

在切割碳钢和低合金钢时,氧气纯度是一个重要的参数(参见参考文献2,第19页)。可以使用更高纯度氧(99.9%~99.95%)而不是标准纯度氧(99.5%,参见图9)来提高切割速度。

虽然切割速度可以提高10~30%(取决于材料厚度和钢型),但是生产率提高在很大程度上取决于被生产的部件性质。与切割复杂形状相比,在切割简单几何形状的较大部件时可以取得更好的效果,在切割复杂形状时,切割速度受到机械转向系统的能力限制而不是切割工艺本身的限制。

图9:氧气纯度对1 mm碳钢切割速度的影响 (使用800 W激光功率和3 bar压力的氧切割)

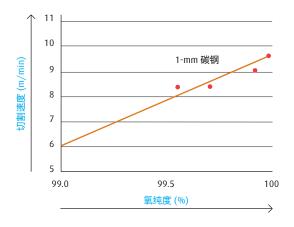
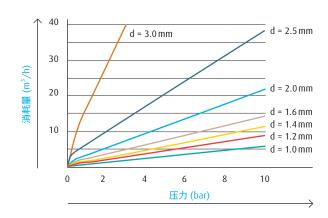


图10:氧气消耗量 (取决于喷嘴内的气体压力和喷嘴尺寸d)



在碳钢和低合金钢的氧切割过程中,切口边缘上会形成一个薄氧化层。在大部分情况下,这不会导致问题。但是,如果切割部件将进行涂装或粉末涂覆,这可能导致问题(在这种情况下,涂料附着力可能不充分,从而导致腐蚀防护不充分)。可以使用高压氮切割作为替代方案来获得无氧化物切口。但是,在切割厚材料时,切割速度会降低。现代高功率激光器可以提供相同的切割速度,在切割薄材料(厚度小于0.08 in)时,甚至可以达到更高的切割速度。

碳钢和低合金钢的表面条件在激光切割中是很重要的。例如,对锈蚀板材进行氧切割可能导致浮渣和凹口。同样,喷涂表面也可能导致问题。这对于涂覆锌底漆和氧化铁车间底漆的板材尤其明显。在氧切割过程中,只有当涂料层面向气体喷嘴时,才会出现问题。切口经常会伴有浮渣和凹口。

当涂料层位于板材的下侧时,不会出现这些问题。虽然可以使用高压 氮切割来避免与涂装板材有关的问题,但是切割速度会变低。

在使用氧气进行切割时,镀锌碳钢导致许多问题。总是会形成浮渣, 切割面可能非常粗糙。因此,高压氮切割在行业中被用于切割镀锌 钢。可以达到合格的切割质量并且没有浮渣附着。

表2:不锈钢使用氧气进行激光切割的参数 (其中包括压力和用气量要求)

材料厚度	激光功率	喷嘴喷距	喷嘴直径	氧气压力	Gas volume	Cutting speed m/min (in/min)	
mm (in)	W	mm (in)	mm (in)	bar (psi)	m^3/h (scf/h)		
0.5 (0.02)	1,000	0.3-0.6 (0.01-0.02)	0.3-0.6 (0.01-0.02)	4.0-6.0 (60-90)	5.0 (175)	15.0 (600)	
1.0 (0.04)	1,000	0.3-0.6 (0.01-0.02)	0.3-0.6 (0.01-0.02)	4.0-6.0 (60-90)	5.0 (175)	11.0 (440)	
2.0 (0.08)	1,000	0.3-0.8 (0.01-0.03)	0.3-0.6 (0.01-0.02)	4.0-6.0 (60-90)	5.0 (175)	7.0 (280)	
4.0 (0.16)	1,500	0.3-0.8 (0.01-0.03)	0.3-0.6 (0.01-0.02)	4.0-5.0 (60-90)	7.0 (250)	3.0 (120)	
6.0 (1/4)	1,500	0.3-0.8 (0.01-0.03)	0.5-0.8 (0.02-0.03)	3.5-5.0 (50-75)	7.0 (250)	0.6 (24)	
9.0 (3/8)	1,500	0.5-1.0 (0.02-0.04)	0.5-0.8 (0.02-0.03)	3.5-4.0 (50-60)	5.5 (195)	0.3 (12)	

注:与碳钢切割相比,氧气的压力和用气量更高。以上数值仅供参考,不同切割系统可能会有差异。

不锈钢和其它高合金钢

氧气和氮气在行业中被用作不锈钢和其它高合金钢切割气体。

在使用氧气时,由于放热能量的作用,因此可以达到高切割速度。目前,最大厚度是16~18 mm(3/4 in)。最佳焦点位置位于板材的上表面或上表面正下方。相对于碳钢切割,用氧气切割不锈钢较厚板材时,使用大约5 bar(75 psi)的相对高压力也会有助于切割。比标准氧气纯度(大约99.5%)更高的纯度(99.90~99.95%)可以提高切割速度。表2显示了一个关于使用氧气进行不锈钢激光切割的切割表。

氧切割的缺点是切口总是有毛刺,而且氧化铬和氧化铁导致切割面变色(参见参考文献3,第19页)。这些氧化物将妨碍后续焊接程序。例如,TIG焊缝在焊根侧有黑色氧化物斑点,这些氧化物斑点有时可能导致未焊透。此外,氧化后的切割面将助长切口边缘腐蚀。氧切割中的这些缺点是很严重的,因为这些缺点经常要求进行高成本精整作业。虽然可以使用高压氮切割来获得无氧化物和无毛刺切口,但是与氧切割相比,切割速度必须大幅降低。可以使用更高功率的激光器达到更高的切割速度。功率至少为2.5 kW的二氧化碳激光器通常被用于这个应用。目前,可以获得无毛刺切口的最大板材厚度范围约为12~16 mm(0.50~0.64 in)。

在高压氮切割过程中,为了获得无毛刺切口,焦点应接近板材的背表面。切缝然后变得更宽,因此更多的氮流能够穿透到切缝中并且清除熔融材料。与氧切割相比,更低的焦点位置导致气体喷嘴内的激光束截面更大(参见图11)。还必须扩大喷嘴直径,以确保激光束在不被削减的情况下穿过喷嘴。高压氮切割通常要求至少1.5 mm(0.05 in)的喷嘴直径。

表3中包含了一个关于不锈钢高压氮切割的切割表。图12显示了气体 当耗量

氮气纯度对切割速度的影响很小,只要氮纯度至少高于99.5%。但是,即使是少量的氧杂质也具有氧化作用。在不锈钢中,这意味着切割面变色。工件的耐腐蚀性也会被削弱。氧杂质含量需要低于20 ppm (0.002%) 以避免氧化。虽然在不锈钢激光切割过程中有必要达到这个规格,但是在其它工业应用中通常没有这项要求。

在使用钢瓶或集装格中的气态氮时,由于可以提供各种不同的纯度等级,因此氧杂质含量是很重要的。在使用储槽中的液态氮时,由于杂质含量一般非常低,因此不会导致切割面变色。

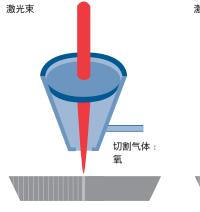
表3:不锈钢使用氮气进行激光切割的参数(其中包括压力和用气量要求)

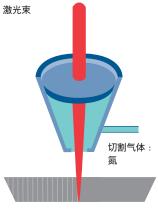
材料厚度	激光功率	喷嘴喷距	喷嘴直径	氮气压力	气体用气量	切割速度	
mm (in)	W	mm (in)	mm (in)	bar (psi)	m³/h (scf/h)	m/min (in/min)	
1.0 (0.04)	1,500	0.3-0.6 (0.01-0.02)	1.2-1.5 (0.05-0.06)	6.0 (90)	8.0 (280)	7.0 (280)	
2.0 (0.08)	1,500	0.3-0.6 (0.01-0.02)	1.2-1.5 (0.05-0.06)	9.0 (135)	12.0 (420)	4.0 (160)	
4.0 (0.16)	3,000	0.3-0.8 (0.01-0.03)	2.0-2.5 (0.08-0.10)	13.0 (195)	28.0 (990)	3.0 (120)	
6.0 (1/4)	3,000	0.5-1.0 (0.02-0.04)	2.5-3.0 (0.10-0.12)	14.0 (210)	52.0 (1,840)	1.5 (60)	
9.0 (3/8)	4,000	0.5-1.0 (0.02-0.04)	2.5-3.0 (0.10-0.12)	16.0 (240)	60.0 (2,120)	1.0 (40)	
12.0 (1/2)	4,000	0.5-1.0 (0.02-0.04)	2.5-3.0 (0.10-0.12)	18.0 (260)	68.0 (2,400)	0.5 (20)	
20	5,000	0.5-1.0 (0.02-0.04)	2.5-3.0 (0.10-0.12)	22 (320)	89.1 (3,120)	0.4 (16)	
25	6,000	0.5-1.0 (0.02-0.04)	2.5-3.0 (0.10-0.12)	22 (320)	89.1 (3,120)	0.25 (10)	

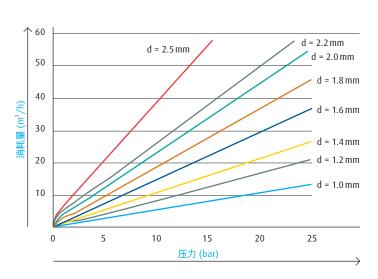
注:材料越厚,氮压力越高。以上数值仅供参考,不同切割系统可能会有差异。

图11: 高压氮切割和氧气切割焦点位置的比较

图12: 氮气消耗量 (取决于喷嘴内的气体压力和喷嘴尺寸d)

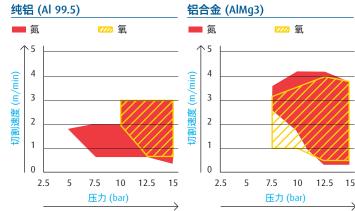








13:使用压力高达15 bar的氮气和氧气切割2 mm纯铝和2 mm铝合金 (激光功率1,500 W) 的无浮渣参数范围



铝和铝合金

铝包括纯铝和铝合金。纯铝是软的, 经常与少量镁、铜、锰、硅或锌 形成合金以改进其机械强度。

由于铝的高反射率和热导率,因此使用二氧化碳激光器切割铝被认为 有一定难度。但铝合金通常比纯铝更易于切割而且切割速度更快。 由于氧化铝厚表面层中的激光吸收增强,因此阳极氧化铝也比较易于切割。高激光功率(超过2 kW)和良好的激光模式有助于改进铝的切割适合性。

由于焦斑中的较高功率密度,因此大约63 mm(2.5 in)的小焦距对于较薄的板材是有利的。能够被切割的最大板材厚度约为6~8 mm(0.24~0.32 in)。

虽然氧气和氮气都可作为切割气体对铝进行切割,但是使用氧的切割速度并不显著高于使用氮的切割速度。这是由于氧化铝的熔点极高(2,072°C(3,762°F))。固态或粘性氧化铝在切口前缘上形成一个密封,阻碍氧穿透到金属中。由于湍流熔体流动,因此氧化物密封经常爆裂,即使在低速率下,氧化反应仍然可能进行。

表4:铝合金 (AIMg3) 激光切割参数 (无浮渣切口, 切割气体:氮气)

材料厚度 mm (in)	Laser power W	Nozzle stand-off mm (in)	Nozzle diameter mm (in)	Nitrogen pressure bar (psi)	Gas volume m³/h (scf/h)	Cutting speed m/min (in/min)	
1.0 (0.04)	1,800	0.3-0.6 (0.01-0.02)	1.2-1.5 (0.05-0.060)	12.0 (180)	11.0 (390)	8.2	(320)
2.0 (0.08)	1,800	0.3-0.6 (0.01-0.02)	1.2-1.5 (0.05-0.060)	14.0 (210)	15.0 (530)	3.6	(140)
3.0 (0.12)	3,000	0.3-0.8 (0.01-0.03)	1.2-1.5 (0.05-0.060)	14.0 (210)	15.0 (530)	2.5	(100)
4.0 (0.16)	3,000	0.3-0.8 (0.01-0.03)	1.8-2.2 (0.07-0.085)	14.0 (210)	35.0 (1,240)	1.8	(70)
6.0 (1/4)	4,000	0.5-1.0 (0.02-0.04)	2.0-2.4 (0.08-0.090)	16.0 (240)	40.0 (1,410)	1.8	(70)
8.0 (3/8)	4,000	0.5-1.0 (0.02-0.04)	2.0-2.5 (0.08-0.100)	16.0 (240)	45.0 (1,590)	0.8	(30)
12 (½)	5,000	0.5-1.0 (0.02-0.04)	2.0-2.5 (0.08-0.100)	18 (260)	53.0 (1,880)	0.5	(19)
15 (3/8)	6,000	0.5-1.0 (0.02-0.04)	2.0-2.5 (0.08-0.100)	16 (230)	47.0 (1,670)	0.4	(16)

注:以上数值仅供参考,不同切割系统可能会有差异。

低于6 bar(85 psi)的低压氧切割经常被用于切割铝。激光束应聚焦在板材的上表面。使用标准氧纯度(99.5%)即可,因为更高的氧纯度并不提高切割速度。低压氧切割的缺点是切口边缘有浮渣而且切割面非常粗糙。

可以使用高压氮气或高压氧气进行切割来获得无浮渣切口。在切割铝合金时,氮气是更好的选择;在切割纯铝时,氧气是更好的选择(参见参考文献4,第19页)。图13在原则上表明了这一点,该图显示了在切割2 mm(0.08 in)纯铝(Al99.5)和铝合金(AlMg3)时获得无浮渣切口的参数范围。在对铝进行高压切割时,激光束应聚焦在板材的下表面。表4概括了AlMg3的典型切割参数,

钛

氧气和氮气不适于用作钛和钛合金切割气体,因为这些气体(例如 氢)会被吸收到金属表面中并在表面形成一个硬脆性层。这个硬脆性 层可能破裂,裂纹扩展可能导致部件失效。

因此,使用完全惰性气体进行高压切割是钛激光切割的首选方法。此外,在切割工艺过程中,工件经常被固定在惰性气氛容器中。最常使用氧含量非常低(99.996~99.999%)的高纯度氩和氩/氦混合气。切割气体中的氦含量是有利的,因为焦点中的高强度导致扰动的等离子体形成,切口会没有明显的浮渣附着。深焦点位置定位在板材的上表面下方是有利的。

镍合金

镍是许多重要工业合金中的基底金属,例如因科耐尔合金(镍铬合金)、尼莫尼克合金(镍铬钴合金)、哈氏合金(镍钼铬合金)和蒙乃尔合金(镍铜合金)。

虽然可以使用低于6 bar (85 psi) 的低压氧切割达到高切割速度,但是切口边缘有浮渣而且切割面被氧化。

虽然可以使用高压氮获得无毛刺和无氧化物切口,但是与氧切割相 比,切割速度显著降低。焦点应位于板材的上表面下方的材料内部深 处。

铜合金

由于高反射率和热导率,铜的切割难度很大。必须采取预防措施以避免激光束再反射和谐振腔受到损坏。黄铜是一种重要的铜合金(铜锌合金),其反射率和热导率低于铜。因此,使用二氧化碳激光器更易于切割黄铜。很高的激光功率和非常短的透镜焦距 - 约63 mm(2.5 in)有利于铜合金的切割。

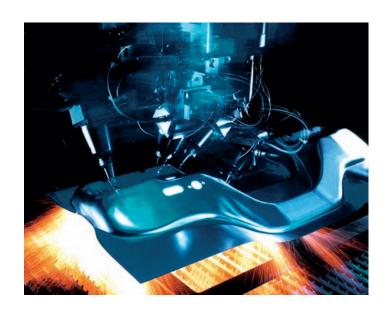
在使用二氧化碳激光器切割黄铜和其它铜合金时,氧切割更可取。氧气更适于用作切割气体,因为切口前缘的氧化层提高激光束的吸收率。不超过6 bar(85 psi)的低氧压力和高达20 bar(300 psi)的高氧压力都可使用。在高达20 bar(300 psi)的高氧压力水平上切割黄铜时,必须为工作区提供适当的通风以避免危险的富氧环境。能够被切割的最大板材厚度是4~5 mm(0.16~0.20 in)。高压氮气有时也被用于切割铜合金。

非金属

激光被广泛应用于非金属切割。

二氧化碳激光器被用于切割塑料、橡胶、纺织品、木材、陶瓷和石英。在使用1 kW二氧化碳激光器时,塑料和胶合板的最大厚度约为25 mm (1 in)。YAG激光器在行业中有时被用于切割某些类型的陶瓷(例如碳化硅和氮化硅)。

文献目录



无油、无脂和无水分的压缩空气是用于几乎所有上述非金属材料的最主要的切割气体。惰性切割气体(例如氮)仅当塑料或织物具有高度易燃性的少数情况下使用。氧气可以被用于避免陶瓷切割面变色(例如氧化铝和氧化锆)。

在某些非金属(例如塑料、合成纤维纺织品和陶瓷)的激光切割过程中,形成有毒烟气或粉尘,因此有必要提供良好的排烟/除尘系统。

LASERLINE®激光气体和服务

运用林德LASERLINE[®]方案,我们向我们的客户提供全套解决方案,包括提供合适的气体、个性化的气体供应系统和全面的客户服务。

作者

Dr.-Ing. J. Berkmanns, Linde Inc., NJ, USA Dr.-Ing. M. Faerber, Linde AG, Linde Gases Division, Hamburg, Germany

参考文献

- M. Faerber: Appropriate Gases for Laser Cutting of Stainless Steel, International Congress Stainless Steel 1996, Düsseldorf, VDEM (1996), pp. 282–283
- 2. John Powell: CO₂ Laser Cutting, Springer Verlag (1993)
- 3. M. Faerber and W. Schmidt: Laser cutting gases, DVS-Berichte, Band 185, DVS-Verlag (1997), pp. 72–74
- 4. T. Kristensen and F.O. Olsen: Cutting of Aluminium Alloys, Proc. of the 4th NOLAMP Conf., Sonderborg (1993), pp. 121–129

进一步阅读文献

- → 《工业应用激光器》
- → 《激光气体和气体供应系统》
- → 《激光焊接工艺》
- → 《激光加工成本评估》

如需其它技术信息文件, 请联系当地林德代表。

图片出处

第3页图片: K. Moder GmbH, Wiesmoor, Germany 第11页图片: AUDI AG, Ingolstadt, Germany

创新为先

林德以创新理念,在全球市场上常居先锋地位。作为技术领军者,我们以不断提升技术水平为己任。我们保持着开拓进取的优良传统,始终致力于开发优质产品和革新工艺。

林德的服务不仅于此。我们为客户创造附加值,显著的竞争优势和更高的效益。每一种理念都为满足客户的需求而量身定做 - 从标准化到定制化解决方案一应俱全,适用于所有工业和各类规模的企业。

要保持与时俱进,您需要一个把高质量、工艺优化、和高产率作为日常运作一部分的合作伙伴。我们所定义的合作不仅是在您身边待命,而是与您并肩同行。终究,通力协作才是商业成功的核心。

林德 - 精于品 诚于行