

工程焊接技术与质量试验 检测评定标准实用手册

◇ 主编 陈路 ◇



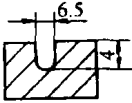
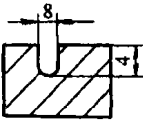
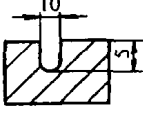
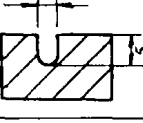
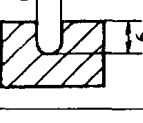
北京电子出版物出版中心

三、碳弧气刨工艺

(一) 碳弧气刨工艺规范

见表 3-2-26。

表 3-2-26 碳弧气刨工艺规范

项 类 目	碳棒规格 /mm	电流 /A	气刨速度 / (m/min)	槽的形状 /mm	使用范围
圆 碳 棒	φ5	250			用于厚度 4 ~ 27mm 板
	φ6	280 ~ 300			
	φ7	300 ~ 350	1.0 ~ 1.2		
	φ8	350 ~ 400			用于厚 度 8 ~ 24mm 或厚 板
圆 碳 棒	φ10	450 ~ 500			用于厚 度 8 ~ 24mm 或厚 板
扁 碳 棒	4 × 12	350 ~ 400	0.8 ~ 1.2		
	5 × 20	450 ~ 480	0.8 ~ 1.2		
	5 × 25	550 ~ 600	0.8 ~ 1.2		

(二) 碳弧气刨操作技术

(1) 开始气刨前, 要检查电源极性, 根据碳棒直径选择并调节好电流。调节碳棒伸出长度至 80 ~ 100mm 左右, 调节好出风口, 使风口能对准刨槽。

(2) 刨削时, 先要开气阀, 随后引燃电弧 (以免产生夹碳)。在垂直位置气刨时, 应由上向下移动。

(3) 碳棒倾角按要求的槽深而定, 刨削要求深, 倾角就应大一些。一般可在 45° 左右。

(4) 碳棒中心线应与刨槽中心线重合, 否则刨槽形状不对称。

(5) 要保持均匀的刨削速度。均匀清脆的嘶嘶声表示电弧稳定, 能得到光滑均匀的刨槽。速度太快易短路; 太慢又易断弧, 刨槽质量亦差。每段刨槽衔接时, 应在弧坑上引弧, 防止触伤刨槽或产生严重凹痕。

(6) 刨削结束时, 应先断弧, 过几秒钟后再断气, 使碳棒冷却。

第五节 激光切割

一、激光切割的特点

激光切割是利用经聚焦的高功率密度激光束能量使切口部位金属被加热熔化及气化, 同时用纯氧或压缩空气、氮气、二氧化碳 + 氮气、氩气等具有一定压力的辅助气流将切口液态金属吹除; 随着激光束与割件的相对移动, 切缝处熔渣不断被吹除, 最终在割件上形成切缝。图 3-2-17 是激光切割示意图。

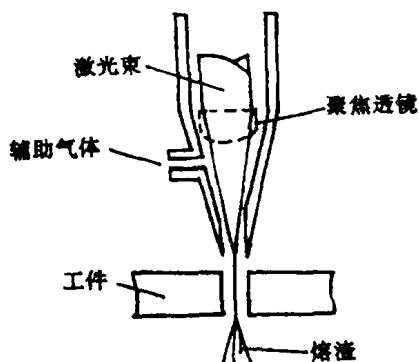


图 3-2-17 激光切割示意图

激光切割是一种高速度、高质量的切割方法, 其特点可概括为以下几点:

(1) 切缝细窄, 节省切割材料, 还可切割盲缝。如切割一般低碳钢, 切缝宽度可小到 $0.1\text{mm} \sim 0.2\text{mm}$ 。

(2) 切割速度快, 热影响区很小 (其宽度仅有 $0.01\text{mm} \sim 1\text{mm}$), 且割后工件变形很小, 性能不受影响。

(3) 切缝边缘垂直度好, 切边光滑; 表面粗糙度 Ra 可低到十几微米, 远小于气割、等离子弧切割等其它热切割方法; 工件的尺寸精度可达 $\pm 0.05\text{mm}$ 。因此, 有些工件切割后无需再加工, 可直接使用或进行焊接。

(4) 光束无惯性, 可实行高速切割 (切割速度可达每分钟几米至几十米), 且任何方向都可同样切割, 也可在任何位置开始切割和停止。因此切割时不用工夹具固定。

(5) 可实现多工位操作, 易进行数控自动化切割。

(6) 由于是无接触切割, 所以无工具的磨损也不需要换刀具, 只需调整工艺参数。

(7) 切割时噪声低、污染小。

(8) 可以切割软、硬、脆、易碎材料及合成材料等多种材料。

目前激光切割中、小厚度板较为有利, 切割厚度低于 15mm , 对于大厚度板的切割尚有一定困难。

二、激光切割方法与原理

从切割各类材料不同的物理形式来看, 激光切割一般可分为气化切割、熔化切割、氧助熔化切割、划片与控制断裂四类。

(一) 气化切割

工件在激光束照射下, 温度在极短时间内升至沸点以上, 此时部分材料化作蒸汽逸去, 部分作为液、固态颗粒喷出物从切割缝底部被吹走, 形成割缝。气化切割需要约 $10^8\text{W}/\text{cm}^2$ 的高功率密度, 是激光熔化切割机制所需能量的 10 倍, 大多用于切割木材、碳素及某些塑料等。

(二) 熔化切割

用激光加热并使金属熔化, 然后喷吹与光束同轴的辅助气体, 将熔化金属吹除, 从而形成割缝。常用于易氧化材料的切割。

(三) 氧助熔化切割

如果用氧气或其它活性气体 (如空气、氯气) 代替熔化切割中的惰性气体, 则氧助熔化切割存在两个热源: 激光照射能和氧-金属放热反应能。粗略估计, 切割钢时, 氧放热反应提供的能量约占全部切割能量的 60%。因此, 氧助熔化切割的实质是以激光先预热, 以氧气为切割气体切割钢、钛等

金属材料。与用惰性气体熔化切割相比，激光氧气切割的切割速度有较大提高。

(四) 划片与控制断裂

划片是用激光在一些脆性材料表面刻划小槽，随后施加一定外力使材料沿槽口断开。控制断裂则是激光束加热刻槽的同时，由于加热引起热梯度，在脆性材料内部产生局部热应力，使材料沿刻槽断开。

控制断裂切割速度快，所需激光功率很小。功率太高反而造成工件表面熔化，并破坏切缝边缘。其主要可控参数是激光功率和光斑尺寸。

三、激光切割设备

(一) 切割设备的组成

激光切割设备主要由激光器、光学偏转与聚焦系统、光束检测器、工作台和控制系统等组成，图 3-2-18 是激光切割设备示意图，其中，控制系统目前多采用数控系统。如采用不同类型的计算机来控制加工轨迹、光闸、冷却系统、辅助气体等等。

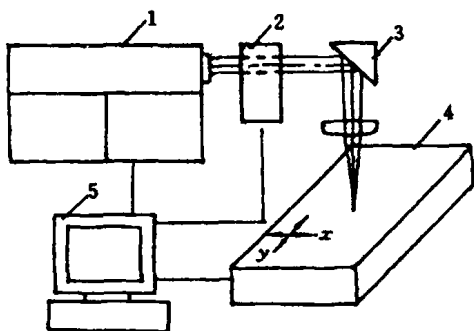


图 3-2-18 激光切割设备示意图

1—激光器；2—光束检测仪；3—偏转聚焦系统；4—工作台；5—控制系统

(二) 国内外常用激光器技术数据

激光切割常用激光器有 YAG 或钕玻璃棒固体激光器、CO₂ 气体激光器等。尤其是 CO₂ 气体激光器在结构形式上有封闭或半封闭 CO₂ 激光器、横流式 CO₂ 激光器及快速轴流式 CO₂ 激光器三种，在激光焊接、切割方面应用更多。表 3-2-27 和表 3-2-28 分别给出了常用横流式和快速轴流式 CO₂ 激光器的主要技术指标及主要用途。

表 3-2-27

常用的横流式 CO₂ 激光器

型 号		HGL-8010	HGL-895	HGL-892	HJ-3	820	RS 840	管板式 CO ₂ 激光器	
研制（生产） 单位名称		华中理工 大 学	华中理工 大 学	华中理工 大 学	上 海 光机所	美 国 Spectra Physics	德 国 Rofinsinar	上海光机所	
主要用途		切割，焊接， 表面合金化	热处理，表面涂 敷，切割焊接	焊接，切割， 热处理		切割，焊接	焊接，切割 ，热处理	热处理，焊接， 切 割	
主 要 技 术 指 标	波长（μm）		10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	
	输出 功率	多 模 （kW）	10	5	2.5	1.8		4	5、10
		低阶模 （kW）	6	3	1.2	1	1.5		3、6
	功率不稳定度		≤ ±3%	≤ ±5%	< 1.8%	< ±2%	± 2%	± 2%	1 ± %
	电光效率		≥16%	> 13%	15%	15%	15%		14.3%
	发 散 角	多 模 （m rad）	5	5	5			≤3	3.5
		低阶模 （m rad）	2	2	2		2		2.2
	一次充气全封 闭运行时间（h）		>6	≥8					8
连续工作时间 （h）			> 8	> 30				> 20	

表 3-2-28

常用快速轴流式 CO₂ 激光器

型 号	HF-500	HF-1500	C-506	810	RS 2500	RS 700SM ~ RS 1700SM
研制 (生产) 单位名称	华中理 工大学	华中理 工大学	南京 772 厂	美 国 Spectra Physics	德 国 Rofinsinar	德 国 Rofinsinar
主要用途	切割, 焊接	切割, 焊接	切割, 焊接	切割, 焊接	切割, 焊接	切割, 焊接

型 号		HF - 500	HF - 1500	C - 506	810	RS 2500	RS 700SM ~ RS 1700SM
主要技术指标	波长 (μm)	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
	输出功率 (W)	600	1500	500	600	250 ~ 2 800	700 ~ 1 700
	功率不稳定性 (%)	$< \pm 1.5$	$< \pm 1.5$	± 2	$< \pm 1.5$	± 2	± 2
	光斑模式	基模为主	基模为主	基模为主	TEM ₀₀	TEM ₂₀	TEM ₁₀
	连续运行时间	$> 8\text{h}$	$> 8\text{h}$				
	转换效率	$> 20\%$	20%				

四、切割工艺参数的选择

(一) 激光功率与切割速度

激光功率是确定切割速度和切割厚度的主要参数。图 3-2-19 是激光切割不同厚度的三种金属材料时激光功率与切割速度的关系。图示说明，功率与板厚的比值越大，切割速度也越大；且激光氧气切割比激光熔化切割所需功率小得多。

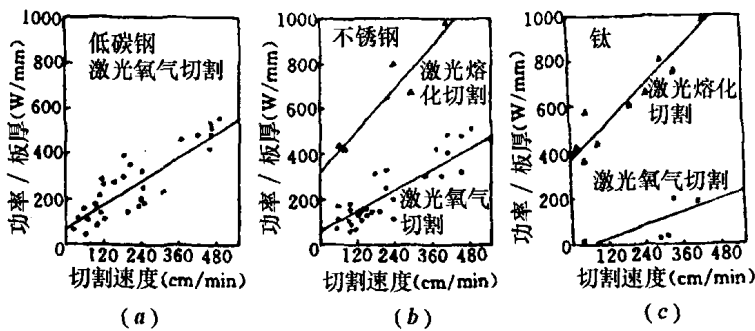


图 3-2-19 功率及板厚与切割速度的关系

此外，切割速度还与光束模式及其尺寸、材料密度有关。一般单模比多模切割速度高；光斑小则切割速度大；材料密度越低，切割速度越高。

图 3-2-20 是激光功率与切割速度对切缝宽度的影响。图 3-2-21 是

切割速度对切缝表面粗糙度的影响。可以看出，切割速度存在一个最佳值。

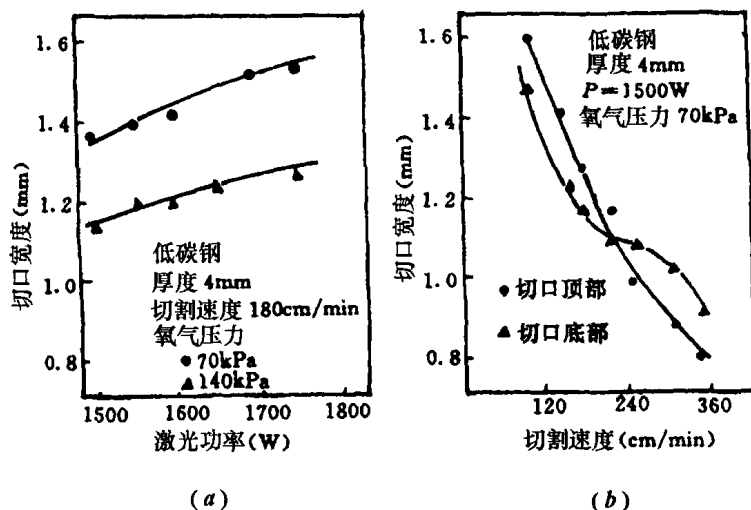


图 3-2-20 功率和切割速度对切口宽度的影响

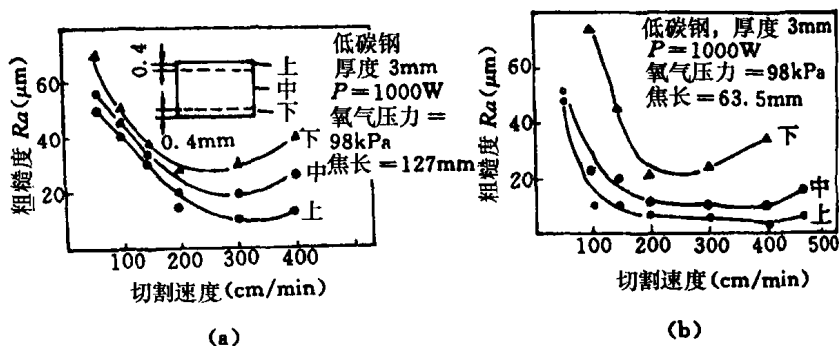


图 3-2-21 切割速度对切缝表面粗糙度的影响

(二) 氧气压力

增加氧气压力可以提高切割速度。图 3-2-22 是氧气压力对切割速度的影响曲线图。可以看出，氧气压力过大，反而引起切割速度的下降。因此，对确定的板厚，存在一个最佳氧气压力；对确定的功率，最佳氧气压力随板厚的增加而减小。

(三) 光束模式

对激光切割来说，基模光束可聚焦成较小光斑，获得高功率密度（比多模光束高两个数量级）。用它来切割金属，可获得细窄的切缝，平直的切边，

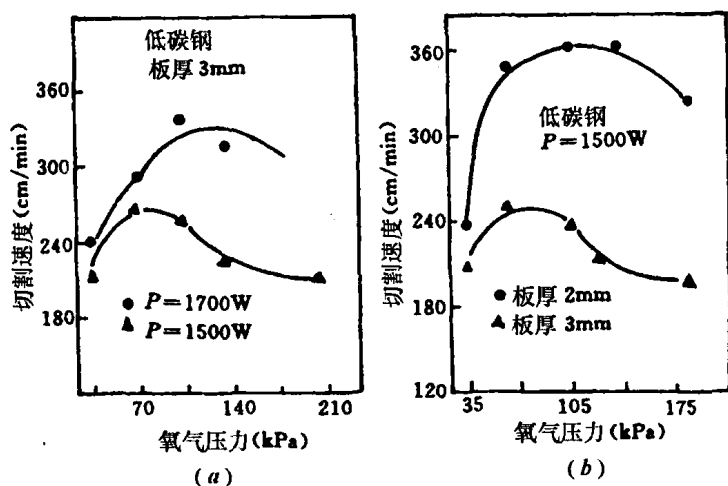


图 3-2-22 氧气压力对切割速度的影响

且切口下侧粘渣少，甚至不粘渣。因此，切割应采用基模光束的圆偏振光。

(四) 透镜焦距和离焦量

透镜焦距小，光束聚焦后功率密度高，但焦深也不大，适于薄件高速切割；焦距大，则功率密度低，但焦深大，可用于切割厚工件。焦点与工件表面的距离——离焦量对切缝宽度也有影响，其最佳值为在工件表面下方的 $1/3$ 板厚。

(五) 喷嘴

喷嘴的形状和大小也是影响切割质量、气压分布以及切割速度的重要参数。图 3-2-23 是几种常见的激光氧气切割用喷嘴的形状，不同的切割机喷嘴形状也不同。具体形状和参数一般通过试割来确定。

(六) 喷嘴到工件表面的距离

喷嘴口离工件表面太近，影响对溅散切割熔渣的驱散能力；但喷嘴口离工件表面太远，也造成不必要的能量损失。一般控制工件与喷嘴口的距离为 $1\text{mm} \sim 2\text{mm}$ 。对异型工件的切割，主要靠自动调节高度装置来恒定喷嘴口到工件的距离。

表 3-2-29 是激光切割各种材料的主要参数及特点，选用时可供参考。

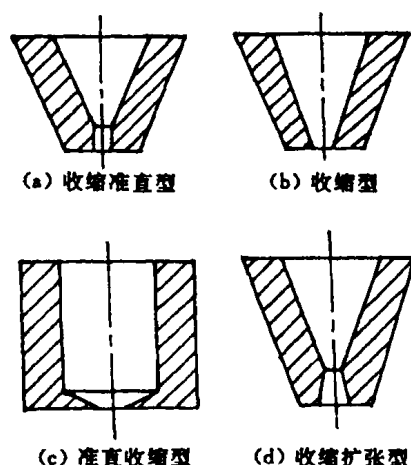


图 3-2-23 几种切割喷嘴的形状

表 3-2-29 各种材料激光切割参数、特点及应用

材 料	厚 度 (mm)	激光功率 (W)	切割速度 (cm/min)	切割 气体	特 点 及 应 用
99%刚玉陶瓷	0.7	8	30	—	控制断裂
晶体石英	0.81	3	60	—	同上
铁氧体片	0.2	2.5	114	—	同上
蓝宝石	1.2	12	7	—	同上
石英管	—	500	400 件/h	—	节料, 质量好, 制造卤素灯管
布料	—	20~250	500~3 000	空气	节料, 质量好, 效率高, 自锁边, 制造打字机色带、伞面、服装等
玻璃钢	12.7	20 000	460	空气	质量好, 无刀具磨损
橡木	16	300	28	空气	质量好, 边缘整齐, 节省, 用于家具制造
松木	50	200	12.5	空气	
硼环氧树脂板	8.1	15 000	165	空气	效率高, 无工具磨损, 用于飞机制造
低碳钢板	1.5	300	300	O ₂	质量好, 省工, 省料, 代替铣、冲、剪切, 用于仪表板、换热器汽车零部件的制造
	3	300	200		
	1.0	1 000	900		
	6.0	1 000	100		

材 料	厚 度 (mm)	激光功率 (W)	切割速度 (cm/min)	切割 气体	特 点 及 应 用
	16.25	4 000	114		
	35	4 000	50		
30CrMnSi	1.5	500	200	O ₂	代替铣、冲、剪切，效率高，质量好，用于飞机零件制造
	3.0	500	120		
	6.0	500	50		
不锈钢	0.5	250	450	O ₂	无变形，省料，省工，用于飞机零件、直升机旋翼等的制造
	2.0	250	25		
	3.175	500	180		
	1.0	1 000	800		
	1.57	1 000	456		
	6.0	1 000	80		
	4.8	2 000	400		
	6.3	2 000	150		
	12	2 000	40		
钛合金	3.0	250	1 300	O ₂	速度快，质量好，代替铣削、磨削和化学腐刻等，省工，效率高，用于飞机制造
	8.0	250	300		
	10.0	250	280		
	40.0	250	50		
钛蒙皮铝蜂窝板	30.0	350	500		无变形，无破坏，切速快，用于航空构件
双面涂塑钢权	0.5~2.0	350	300	O ₂	省工，省料，切割时不破坏表面涂塑层，用于空调制造

五、激光切割程序编制实例

准确、迅速地编制工件的加工程序也是激光切割中不可忽视的一个问题。下面典型零件的激光切割程序编制均采用自动编程系统进行。

如图 3-2-24 所示零件, 首先给定加工速度 $2\,000\text{mm}/\text{min}$, 然后给定图形轮廓坐标界域: X 方向的最大坐标 $1\,000$, Y 方向的最大坐标 503 ; X 方向的最小坐标 -3 , Y 方向的最小坐标 -3 。再输入起始点坐标值 (-3.503) 。此时计算机屏幕上会出现一个文本输入窗口、命令提示窗口和一个图形显示窗口 (还有一个图形选择窗口暂时看不到), 就进入了自动编程状态。

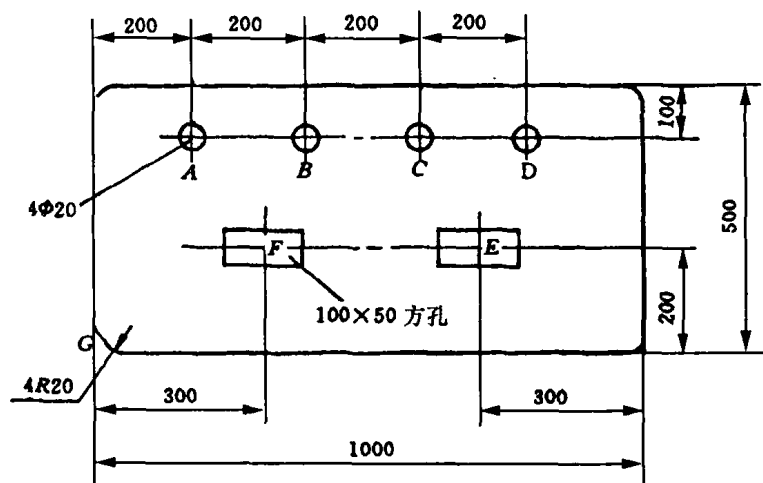


图 3-2-24 编程实例零件图

命令名	注释或输入
	200, 400 (走到 A 点)
SMH	打小孔
孔径?	20
	400, 400 (走到 B 点)
SMH	打小孔
孔径?	20
	600, 400 (走到 C 点)
SMH	打小孔
孔径?	20
	800, 400 (走到 D 点)
SMH	打小孔
孔径?	20
	700, 200 (走到 E 点)
REC	开方孔
长 × 宽?	100, 50
	300, 400 (走到 F 点)
REC	开方孔

长 × 宽?	100, 50
	0, 0 (走到 G 点)
CUT (开始加工)	开光闸
LCL (已知两直线求切圆)	加工圆线圆 (加工外形开始)
第一线定义?	X = 0
第二线定义?	Y = 500
过渡圆半径?	20
LCL	加工圆线圆
第二线定义?	X = 1 000
过渡圆半径?	20
LCL	加工圆线圆
第二线定义?	Y = 0
过渡圆半径?	20
LCL	加工圆线圆
第二线定义?	X = 0
过渡圆半径?	20
NCT (停止加工)	关光闸
	- 3, - 3 (走到下一加工工件起点)
END	编程结束

编程时, 编程员只要确保输入的参数准确无误, 所选择的图形符合图纸上的要求即可。每当遇到有图形选择的场合 (如两圆求切圆 LCL), 计算机会自动进入图形选择窗口让你选择。同时左侧文本窗口下部对每段程序均有坐标显示, 编程员可以删除、恢复每段程序, 检查相应的坐标和图形是否正确, 还可用窗口放大观测切割图形的细部。

图 3-2-25 所示零件的加工程序稍复杂一些。先给定切割速度 2 000mm/min。图形轮廓坐标界域: X 方向最大坐标 141, 最小坐标 -141; Y 方向最大坐标 143, 最小坐标 17。加工起始点坐标为 (-141, 143)。

自动编制切割程序如下:

编程命令	注释或输入
PRD (循环定义)	子程序 (或循环) 定义开始
循环起始点坐标?	0, 105
CUT	开光闸切割
	@0, - 5 (开始切方框)
	@ - 10, 0
	@0, 20
	@0, - 20

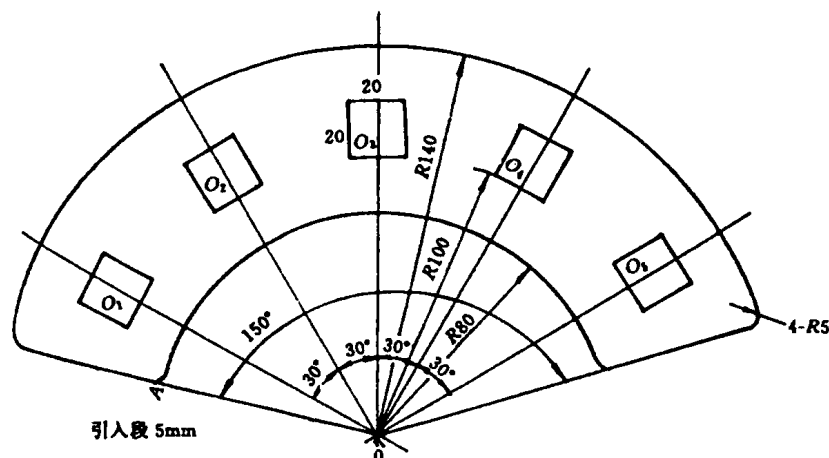


图 3-2-25 编程实例二零件图

	@ - 10, 0
	@0, 5
NCT	关光闸停止切割
RPE (循环结束)	子程序定义结束
	# 105, 150 (走到 O ₁ 点)
ROT (旋转)	旋转
旋转角度?	60
REP (循环调用)	调用子程序
	# 105, 120 (走到 O ₂ 点)
ROT	旋转
旋转角度?	30
PEP	调用子程序
	0, 105 (走到 O ₃ 点)
RE	调用子程序
	# 105, 60 (走到 O ₄ 点)
ROT	旋转
旋转角度?	- 30
REP	调用子程序
	# 105, 30 (走到 O ₅ 点)
ROT	旋转
旋转角度?	- 60
REP	调用子程序
	# 80, 165 (走到 A 点)

CUT	开光闸开始加工
LCC (已知一线一圆求切圆)	加工线圆圆
第一线定义?	PLA (线的点斜式)
点坐标?	0, 0
角度?	165
第二圆定义?	0, 0, 140
过渡圆半径?	5
CCL (已知一圆一线求切圆)	加工圆圆线
第二条线定义?	LLY (已知线的 Y 镜像)
已知线定义?	LAST (上一线作为已知线)
过渡圆半径?	5
LCC	加工线圆圆
第二圆定义?	0, 0, 80
过渡圆半径?	5
CCL	加工圆圆线
第二条线定义?	LLY (已知线的 Y 镜像线)
已知线定义?	LAST (上一线作为已知线)
过渡圆半径?	5
NCT	关光闸停止加工
	- 141, 17 (移至下一加工起 始位置)
END	编程结束

六、激光切割的安全知识

(一) 激光切割的危害

激光切割与激光焊接一样, 直射、反射或散射到人体时, 可以造成不同程度的损伤。如激光切割时, 功率大多在数百瓦至数千瓦, 激光的亮度比太阳、电弧亮度高数 10 个数量级。一般情况下, 人的眼睛最容易受到激光的伤害, 轻则使眼睛视力下降, 重则眼被烧伤或瞬间致盲; 此外, 人的皮肤受其直射也会被烧伤或严重烧伤; 若长时间受紫外光、红外光漫反射的影响, 还会导致皮肤老化、皮炎和皮肤癌等病变。

同时激光束反射或强反射, 能引起可燃物的燃烧导致火灾; 激光器中数千至上万伏特的高压, 也存在着电击的危险。因此, 激光加工中应加强激光的安全防护和人身保护, 避免人身伤亡或其它一些危害极大的事故。

（二）激光切割的安全防护

（1）在激光加工设备上应设有明显的危险警告标志和信号，如“激光危险”、“高压危险”等，且设备应有各种安全防护装置。

（2）激光光路系统尽可能予以全封闭，并采用联锁装置。如让激光束在金属管道中传递。如果不能全封闭，则应使激光光路及光束明显高于身高。

（3）激光加工机工作台应用玻璃等屏蔽，防止反射光。

（4）激光加工场地也应设有安全标志，设置栅栏或隔墙等，以防闲人误入危险区。

（三）人身防护

（1）激光加工现场操作和加工工作人员必须配备激光防护镜。

（2）衣着尽量穿白色防护衣，减少漫反射的伤害。

（3）激光加工的操作员应是具有一定操作加工经验的人员。

异种材料的 焊接技术

第一节 硬质合金及陶瓷的焊接

硬质合金是一种高生产率的工具材料，它是将高熔点、高硬度的金属碳化物粉末与黏结剂混合，用粉末冶金法制成各种所需形状的工件。硬质合金具有高硬度、高强度、耐磨损、耐高温、抗腐蚀、抗氧化和膨胀系数小等一系列优点，被广泛地用来制造刀具、模具、量具、采掘工具以及以耐磨作为主要性能的各种零部件。

一、硬质合金的分类、性能及用途

硬质合金是金属碳化物粉末与钴的混合物，常用的金属碳化物是碳化钨、碳化钛、碳化铌和碳化钒等，它们能使硬质合金具有高硬度和高耐磨性。硬质合金的黏结剂主要是金属钴或金属镍等，它能保证硬质合金具有一定的强度和韧性。

（一）硬质合金的分类

常用硬质合金的分类、化学成分及其用途见表 3-3-1。