

# 民用飞机设计手册

## 第七章 焊接

航空航天工业部第六四〇研究所



V2711-62  
1001-61

# 前 言

《民用飞机设计手册》是一套译丛，主要有材料与规范、图纸附注、锻件与铸件、金属板材、挤压件与管件、机加与化铣、焊接、紧固件、非金属材料、化学工艺和表面处理与无损检测、其他等共十一章。

《译丛》内容涉及标准、材料和工艺方面的设计要求，是国外某飞机公司的设计经验总结，是一本实用性很强的工程资料，对我国民用飞机尤其干线飞机的研制有较大参考价值，对民航科研、使用、维修人员以及航空院校有关专业师生有一定参考价值。为此所领导十分重视，组织专门力量花了近三年时间翻译、校对，几经审核，同时得到部民机司郑作棣、林立清的大力支持。

《译丛》约80万字。我们已就各章内容及其相关性进行编辑，并将分章于近期内陆续出版。

本书为第七章：《焊接》。由张华按1989版资料翻译（1.7节“制图方法”因时间关系尚未编入），朱俊华、蒋立群校对，钟维洋审校，林立清审定。

本书出版时间比较紧，难免有错误之处，欢迎批评指正。

航空航天工业部第六四〇研究所

编者 郭玉瑛

一九九一年九月



\*30698463\*

698463

# 第七章 焊 接

## 目 录

1.0 焊接	( 1 )
1.1 概述	( 1 )
1.2 有关文件	( 1 )
1.3 材料	( 2 )
1.3.1 熔焊材料	( 2 )
1.3.2 电阻焊材料	( 3 )
1.3.3 其他焊接材料	( 3 )
1.4 设备与工装	( 3 )
1.4.1 设备	( 3 )
1.4.1.1 手工熔焊	( 3 )
1.4.1.2 自动熔焊	( 3 )
1.4.1.3 电阻点焊/缝焊	( 3 )
1.4.1.4 其他焊接	( 3 )
1.4.2 焊接工装	( 6 )
1.4.2.1 基本工装	( 6 )
1.4.2.2 专用工装	( 7 )
1.5 设计参数	( 8 )
1.5.1 熔焊	( 8 )
1.5.1.1 类型与应用	( 8 )
1.5.1.2 一般要求与比例	( 8 )
1.5.1.3 接头设计	( 11 )
1.5.2 电阻焊	( 13 )
1.5.2.1 类型与应用	( 15 )
1.5.2.2 一般要求与比例	( 15 )
1.5.2.3 边距、间距与连接强度	( 17 )
1.5.3 其它焊接	( 21 )
1.5.3.1 闪光焊	( 21 )
1.5.3.2 冲击螺柱焊	( 29 )
1.5.3.3 摩擦焊	( 33 )
1.6 进度与成本	( 36 )



2.0	钎焊.....	(36)
2.1	概述.....	(36)
2.2	有关文件.....	(37)
2.3	材料.....	(37)
2.4	设备与工装.....	(37)
2.5	设计参数.....	(37)
2.6	成本与进度.....	(42)

(1)	.....	对焊 1.1
(1)	.....	钎焊 1.1
(1)	.....	有关文件 1.2
(2)	.....	材料 1.3
(2)	.....	材料设备 1.3.1
(2)	.....	材料工装 1.3.2
(2)	.....	材料其他 1.3.3
(2)	.....	设备工装 1.4
(2)	.....	设备 1.4.1
(2)	.....	手工 1.4.1.1
(2)	.....	自动 1.4.1.2
(2)	.....	电焊 1.4.1.3
(2)	.....	其他 1.4.1.4
(2)	.....	工装 1.4.2
(2)	.....	基本 1.4.2.1
(2)	.....	专用 1.4.2.2
(2)	.....	设计参数 1.5
(2)	.....	对焊 1.5.1
(2)	.....	应用 1.5.1.1
(2)	.....	一般要求与比例 1.5.1.2
(11)	.....	接头设计 1.5.1.3
(12)	.....	电阻焊 1.5.2
(12)	.....	应用 1.5.2.1
(12)	.....	一般要求与比例 1.5.2.2
(12)	.....	对焊 1.5.2.3
(12)	.....	其他 1.5.2.4
(12)	.....	闪光 1.5.2.1
(12)	.....	冲击 1.5.2.2
(12)	.....	电阻 1.5.2.3
(12)	.....	成本 1.6



## 第七章 焊 接

### 1.0 焊接

#### 1.1 概述

焊接是通过加热、加压或同时加热加压，使用或不使用填充材料，通过接头接触面的熔化和再结晶形成一个固定的整体，将两块或多块金属连接起来。成功地进行焊接的关键是仔细考虑与焊接工艺特性有关的结构要求。焊接加工是受飞机质量规范和商业质量规范控制的。一般地，非关键的地面设备应按商业质量规范施工，飞机与机载设备应按飞机质量规范施工。国外某飞机公司使用（但不一定都由该公司施工）的焊接工艺有：

熔焊：

氢氧焰焊（OHW）

金属极气体保护电弧焊（GMAW）

钨极气体保护电弧焊（GTAW）

埋弧焊（SMAW）

电子束焊（EBW）

电阻焊：

点焊（RSW）

缝焊（RSEW）

其他焊：

管接头自动焊

闪光焊（FW）

钨极气体保护（GTA）熔化点焊

摩擦焊（IW）

冲击螺柱焊（PSW）

#### 1.2 有关文件

DPS 3.323-2 导管的焊接与钎焊

DPS 10.200 金属弧焊

DPS 10.225 钨极惰性气体保护焊（TIG）

DPS 10.250 焊接与钎焊（商业质量）

DPS 10.268 钨极气体保护（GTA）熔化点焊

DPS 10.301 熔焊规范索引

DPS 10.320 熔焊验收标准

DPS 10.322 管接头的自动焊

DPS 10.350 标准焊接程序

DPS 10.351 烟灰去除和电铆焊工艺

DPS 10.352 铸件在加工过程中的焊接



DPS 10.400	气焊	(34)
DPS 10.600	钢的闪光焊	(35)
DPS 10.603	环的闪光焊	(35)
DPS 10.607	铝的电阻闪光焊	(37)
DPS 10.608	冲击螺柱焊	(37)
DPS 10.609	摩擦焊	(37)
DPS 10.800	电阻点焊	(37)
DPS 10.801	蜂窝芯部件的电阻点焊	(37)
DPS 10.803	电阻滚压焊	(37)
DPS 10.810	点焊(商业质量)	(37)
MIL-HDBK-5	金属材料和航空器结构	(37)
ANSI/AWS A2.4-79	焊接和钎焊的标准标记	(37)

第一章:《材料与规范》

第二章:《图纸附注》

### 1.3 材料

#### 1.3.1 熔焊材料

可焊基体材料性能见第一章:《材料与规范》,熔焊附注见第二章:《图纸附注》890类,焊接/软钎焊。

##### 1.3.1.1 铝及铝合金的熔焊

下列合金可任意组合熔焊:

A356, 1100, 2219, 3003, 5052, 6063, 6061

由于铝合金A356、2219和6061(或6063)各具有不同的热处理制度,因此这些合金组合焊接后一般不再进行热处理。

##### 1.3.1.2 钢及合金钢的熔焊

钢、耐热耐蚀合金可以与同种材料焊接,也可以按表1所示组合焊接。大多数的母材都是在退火、固溶处理或正火状态进行焊接的。但300系冷作不锈钢(1/4H、1/2H等),采购状态已热处理至125~145ksi的低合金钢以及采购状态已经热处理的建筑等级钢除外。Inconel 718也可在时效状态焊接。另外,低合金钢焊前应预热,且在最终热处理前进行焊后热应力的消除。

表1列出了异种合金可组合焊接的范围,焊接用的填充材料和焊接工艺已包括在相应的DPS中。由于其他异种合金的焊接取决于热处理要求和合金的相容性,因此,对未列入表中的各种合金组合焊接要与“可生产性工程”部门协商。

##### 1.3.1.3 其他材料

下列的工业纯钛和钛合金是可焊接的:所有的工业纯钛类:DMS 1936、AMS 4900、AMS 4902等;钛合金:Ti-5Al-2.5Sn和Ti-6Al-4V。工业纯钛和钛合金可任意两两组合焊接。

钛与其他金属材料不能组合熔焊。

钛在高温下很活泼,因此焊接时要充分保护免受空气污染,只能采用钨极气体保护电弧焊,零件的焊接通常在充满氩气的焊接箱中进行。



#### 1.3.1.4 焊接对材料的影响

在焊接区，被焊的合金组织会发生变化。根据焊接工艺和工装的情况，基体金属组织可能变化到接近退火状态，某些可热处理合金的性能可经焊后热处理得到恢复。

熔焊接头允许的应力应按MIL-HDBK-5 或其它普遍认可的方法中所列的熔焊接头横截面的形状确定。

电阻焊接头的许用设计应力规定在MIL-HDBK-5和工艺规范中。

### 1.3.2 电阻焊材料

#### 1.3.2.1 点焊和滚焊

表 2 中同一组材料可任意的两两组合焊接。然而，一“优先选用”材料与一“难焊”材料焊接，往往会产生 B 级或 C 级焊缝。

**注：**不同组的材料不可焊接，例如：铝与钢不可焊接。

### 1.3.3 其他焊接材料

#### 1.3.3.1 闪光焊

大多数常用的钢材可进行闪光焊（见第一章：《材料与规范》）。待焊零件是同种合金时，可获得最佳焊接状态，但注明可组合的钢也可闪光焊接。

2024和6061铝合金可与自身材料进行闪光焊，并且，必须在热处理状态下焊接（6061必须在T6状态）。

#### 1.3.3.2 冲击螺柱焊

铝栓应为6061-T6材料，不锈钢栓应为321。

## 1.4 设备与工装

### 1.4.1 设备

#### 1.4.1.1 手工熔焊

手工熔焊所需的标准设备在特定焊接类型的DPS中阐述。钛的焊接通常需要使用充有惰性气体的专用焊接室，保护焊缝免受污染以确保焊接质量。国外某飞机公司使用的标准焊接室能够焊接直径为18英寸、长为60英寸的零件。在某些情况下，能够增加焊接室的长度，焊接室扩展的最大长度和直径尺寸，与“可生产性工程”部门协商。

#### 1.4.1.2 自动熔焊

国外某飞机公司使用的自动焊设备基本有两种：一种是工件固定不动，焊枪在工件上移动，例如导管组件置于纵向焊接定位器上焊接；另一种是焊枪固定不动，工件在焊枪下移动，例如环形组合件的焊接，使用这种设备的焊接通常是钨极气体保护电弧焊(GTAW)。纵向焊接定位设备能够焊接长度达14英尺的工件，但工件的直径受到限制，工件卷筒是否具备可与“可生产性工程”部门联系。

**注：**自动熔焊一般用于长度超过6英寸的纵焊缝或长度超过9英寸的环形焊缝。

#### 1.4.1.3 电阻点焊/缝焊

点/缝焊要求手工控制焊接位置和方向。虽然可提供非直线状的电极，但要求偏心或特殊形状电极的焊接设计应经“可生产性工程”部门的批准。典型的点焊机的净空尺寸见图1，图2示出典型的缝焊机的净空尺寸。

#### 1.4.1.4 其他焊接

##### 1.4.1.4.1 闪光焊



表1

钢和耐热耐蚀合金的熔焊相容性

合金		1020~	1025	COR-TEN, TI	其它	4130, 4135	4140, 4340	HY-TUF	300M	301, 302	304	304L	347, 321	316L	21-6-9	410	12-9-2	17-4PH	17-7PH	PH13-8Mo	15-5PH	INCO 625	INCO 718	HASTELLOY X	19-9DL(349)	INCOLLOY 800	A286	
低碳钢①	1020~	■	■	■	■																							
	1025	■	■	■	■																							
建筑级钢①	COR-TEN, TI	■	■	■	■																							
	其他	■	■	■	■																							
低合金钢	4130, 4135 ②					■	■																					
	4140, 4340 ②					■	■																					
	HY-TUF							■																				
	300M								■																			
不可热处理 不锈钢	301, 302 ③									■	■	■	■	■														
	304 ③									■	■	■	■	■														
	304L									■	■	■	■	■														
	347, 321									■	■	■	■	■											■	■		
	316L									■	■	■	■	■											■	■		
	21-6-9											■	■	■											■	■		
	410															■												
可热处理 不锈钢	12-9-2 ④																■											
	17-4PH ⑤																	■										
	17-7PH																		■									
	PH13-8Mo④																			■								
	15-5PH ⑤																				■							
高温合金	INCO 625												■	■	■								■	■	■	■		
	INCO 718												■	■	■								■	■	■	■		
	HAS-TELLOY X												■	■	■								■	■	■	■		
	19-9DL(349)																									■		
	INCOLLOY 800																										■	
	A-286 ② ④																											■

## ■相容

注：①易焊：通常不需要预热和焊后热处理。建筑级钢可以高强度等级提供，由生产厂热处理，焊后不必热处理就可充分发挥焊接性能。为便于焊接及降低成本，地面设备应优先采用建筑级钢，其次才是4130、4140、4340低合金钢。

②规定用真空熔炼级或高纯级，因减少了杂质含量，改善了可焊性。

③301、302及304是非稳定化不锈钢，多数情况下焊接区的耐腐蚀性能降低，这些合金在焊接以后要求1975°F退火，并迅速淬火以恢复抗蚀性。限制使用。代之使用321、347稳定化不锈钢或304L或316L低碳类不锈钢。

④同种材料可焊接，数据有限且焊接性能不良。

⑤由于热处理制度相同，17-4PH可与15-5PH焊接。



表2

点焊和滚焊的材料相容性

材料分组	A*级、B级及C级 (优先选用)	B级及C级 (难焊)	限用, 咨询“可生产性工程”部门
铝合金	1100-3003 H12-H14-H16-H18 3004-5050-5052 5056-5154 H32-H34-H36-H38 2014-T4-T6 2024-T3-T4 2219-T6-T62 6061-T6 6063-T6 7075-T6	“0”状态的所有铝合金	不包铝的2014、2024、 7075任意组合 包铝2014与不包铝2024 包铝2014与不包铝7075 包铝2014与不包铝2014 6061-T4
钛与钛合金	工业纯钛 薄板与管材 Ti-6Al-4V DMS 1592	无	工业纯钛与任何钛合金
耐热耐蚀钢	应变硬化不锈钢 302-321-347 沉淀硬化不锈钢 15-5MO, 17-4PH 镍基合金 MONEL合金 INCONEL合金 INCOLLOY合金	WASPALLOY合金 RENE 41 INCONEL 718	马氏体不锈钢 303应变硬化不锈钢
钢		低碳钢 (含碳量 $\leq 0.2\%$ )	无
镁合金	无	A Z31B-H24 -0 HK31A-H24 -0 HM21A-TB	无

\*限用, 成本极高, 仅当 B级焊接不满足设计要求时才采用。

A级、B级和 C级的定义见表 6。



由于设备和夹具的限制，对于外径大于5英寸的零件或夹具处直径小于焊接处直径的零件的闪光焊，与“可生产性工程”部门协商。

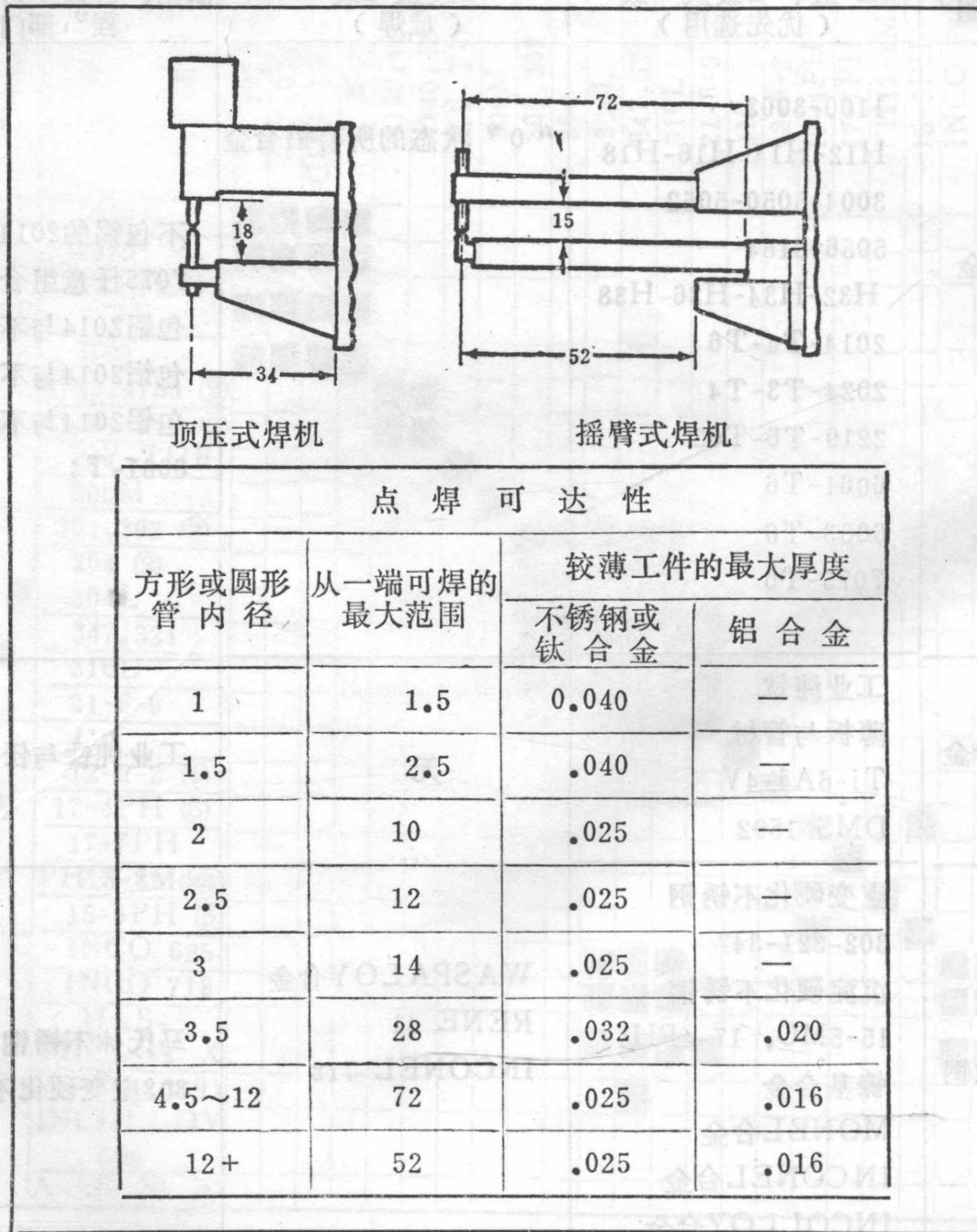


图1 点焊设备的最大能力

#### 1.4.1.4.2 冲击螺柱焊

国外某飞机公司现用的两种设备是(1)有一个固定头的机器，可用简单工装把零件安置在固定头下焊接。(2)计算机控制系统，工件装在能移动的工作台上，移动到固定的焊接头下焊接，当在焊接头下的工件处于安装螺柱的适当位置时，螺柱自动供给焊接头。

直径0.250英寸以下的螺柱能用于以上任意一种设备。

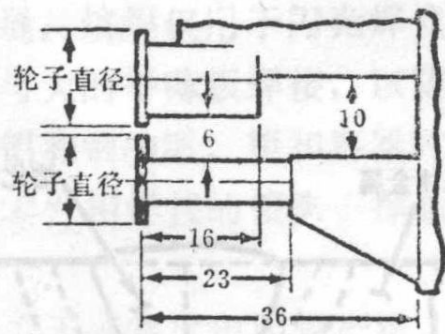
#### 1.4.2 焊接工装

根据零件要求，用于定位和固定住焊接件的夹具，其复杂性和成本有所不同。

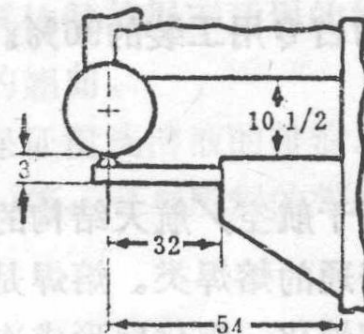
##### 1.4.2.1 基本工装

用于非关键部位的手工熔焊和电阻焊的基本工装可简单地用“C”型夹具或虎钳台；使用这些工装，尺寸公差很少小于 $\pm 0.030$ 。





用于周向焊接



用于纵向焊接

缝 焊 可 达 性			
周向焊接			
圆管最小外径	从一端可焊的 最大范围	较薄工件的最大厚度	
		不锈钢或 钛合金	铝 合 金
1.00	3.50	.035	—
1.25	4.50	.035	—
1.75	10.50	.035	—
2.00	27.00	.035	—
2.25	2.50	.062	.040
3.00	5.50	.062	.062
3.00	33.00	.035	—
3.25	12.00	.062	.040
4.00	44.00	.035	—
12.00	24.00	.062	.062
纵向焊接			
3.00	32.00	.035	—
7.00	42.00	.035	.020
12.00	32.00	.062	.062

图 2 缝焊设备的最大能力

#### 1.4.2.2 专用工装

由机加的支撑棒和压板组成的专用工装，用于公差小于 $\pm 0.030$ 英寸的手工和自动焊。这种工装通常和万用夹具或焊接操作装置（如固定式或旋转式定位器）安装在一起。对于复杂



的设计,可能要用使工装姿态与工件运动同步的复杂装置。由定位器和琴键式夹板夹紧装置组成的专用焊接夹具约占专用工装的90%。

## 1.5 设计参数

### 1.5.1 熔焊

国外某飞机公司用于航空/航天结构的最常见的焊接工艺是普通的熔焊类。熔焊是指基体和填充材料局部熔化,固化后形成连接。典型的焊缝横截面,由焊缝铸造组织和基体热影响区组成,见图3。

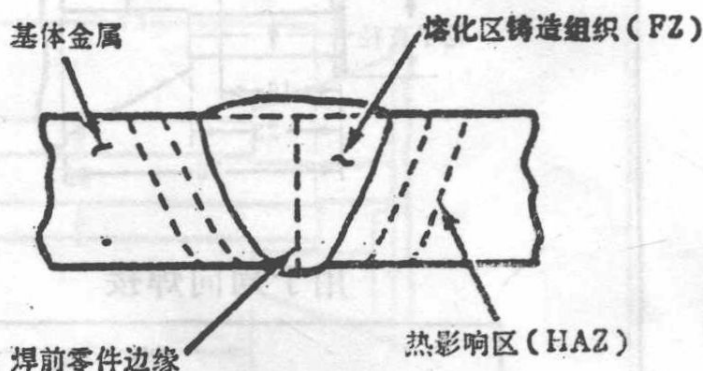


图3 熔焊结构

#### 1.5.1.1 类型与应用

##### 1.5.1.1.1 氧-乙炔气焊 (OAW)

由焊枪控制气体燃烧提供的热源被广泛地用于钎焊和气割,但由于与钨极电弧焊相比效率不高,所以很少用于飞机结构的焊接。

##### 1.5.1.1.2 氧氢焊 (OHW)

由焊枪控制的氢、氧气体燃烧提供热源,用于焊接某些焊剂的清洁与保护作用较有利的飞机铝接头。

##### 1.5.1.1.3 有保护的金属电弧焊 (SMAW)

有保护的金属电弧焊简称焊条弧焊,是一个使用药皮焊条的手工操作电过程,药皮熔化提供气体以保证电弧稳定,熔渣保护了焊缝金属,并在某些情况下添加合金元素。在制造发动机起吊装置和地面设备这类重型钢结构时,这种工艺通常更有用。

##### 1.5.1.1.4 钨极气体保护电弧焊 (GTAW)

钨极气体保护电弧焊,也称为TIG焊,是一种在惰性气体保护下(通常使用氦气或氩气),使用不熔化钨合金电极的电过程。惰性气体保护熔敷金属免受污染,同时稳定了电弧。使用适当的工装,这种工艺能够获得接近于基体金属性能的高质量的焊缝。尽管手工焊和自动焊都可有效使用,但用自动焊可使零件变形减至最小。

##### 1.5.1.1.5 金属极气体保护电弧焊 (GMAW)

金属极气体保护电弧焊,也称MIG焊,除了不断填充可熔焊丝代替钨极外,基本上与GTAW工艺相似。它最大的优点是能够焊要求熔深大、填充料厚的材料。尽管也能用于飞机结构,但目前主要用于制造夹具和地面支撑金属构件。

##### 1.5.1.1.6 电子束焊 (EBW)

电子束焊一般是在真空的专用焊接室中进行,由一束密集的电子束穿透连接界面,窄电子束造成的高度集中的热量在材料中熔出一道缝,当电子束沿接头前进时,随之闭合形成焊缝。由于通过高真空避免了污染,以及高效的局部加热,所以可获得变形小、质量高的焊缝。由于接头相对于电子束的定位需要精确的设备,所以在所有的焊接工艺中,EBW成本最高。由于焊接前要预先将系统抽真空到至少 $1 \times 10^{-4}$  mmHg,所以工作时间也较长。

这种工艺适用于特定场合下薄板和中厚板焊接。由于电子束焊的低热输入使零件变形及软化减到最少,它还广泛用于精加工后和热处理后的零件修复。电子束焊要在经批准的厂商或设施进行。有关焊接室尺寸的限制,可咨询“可生产性工程”部门。

#### 1.5.1.2 一般要求与比例



1.5.1.2.1 下列通用规则适用于熔焊:

- A. 对于钢管焊缝, 熔焊仅用于闪光焊或惰性气体保护焊不适用的地方。
- B. 要避免零件与大的平薄板焊接, 以防薄板的翘曲。
- C. 设计所有的铝和钢的罐、箱和容器时, 要保证清洗溶液的排泄。
- D. 与带外形的零件相焊接的接头、撑板、轴衬等, 要与所焊的带外形零件的表面相吻合。

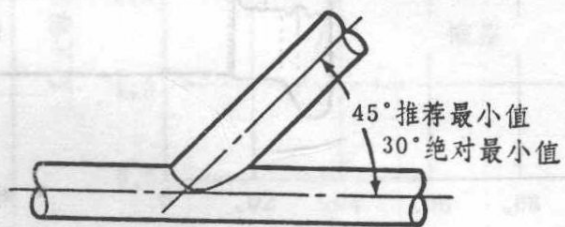
E. 熔焊引起的变形通常比电阻焊严重。

F. 为焊接操作, 应留有足够的空间。图4所示是管接头所需空间, 其它情况下遇到可达性问题时, 与“可生产性工程”部门协商。

G. 线材与筛网自身的焊接或它们与框架的焊接, 最好用钎焊, 因为焊接单个线材困难, 而且时间长。

H. 所有用熔焊密封的组件, 不管焊后是否进行热处理, 都要有释压孔, 孔离焊接头至少0.75英寸, 位于低的应力集中区和能彻底排放防腐液处。每个腔内都要有两个孔以确保完全流通, 所有的腔体之间都必须有内部连通孔。防腐蚀处理后所有的铝组件上的孔都留着, 而钢组件上的孔则要用螺钉封住。钢组件和铝组件的孔和螺钉按表3。

管连接时, 交角受下列限制值的约束:



焊接区可达性受限制时, 可采用下面的结构形式

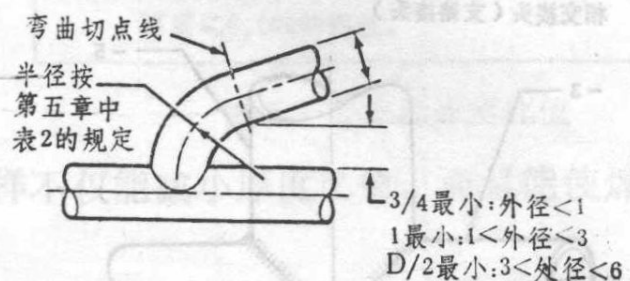


图4 管连接要求的可达性空间

表3 释 压 孔

1. 钢←	空心零件的外径	钻 孔 尺 寸	螺 钉 尺 寸
外部可接近孔	小于 1 英寸	0.086 0.090	MS 21318-15 (0.250英寸长)
	大于等于 1 英寸	0.120 0.127	MS 21318-27 (0.250英寸长)
内部连通孔	所有尺寸	0.193 0.209	不需要螺钉

2. 铝←

最小孔尺寸 = 0.250英寸, 最大孔尺寸 = 0.50英寸, 除内部连通孔外, 其它孔都应可见, 以便检查孔的位置。应使得当部件处于正常位置时可排出积液。孔不要加塞。

I. 结构管/导管接头见图4.1。

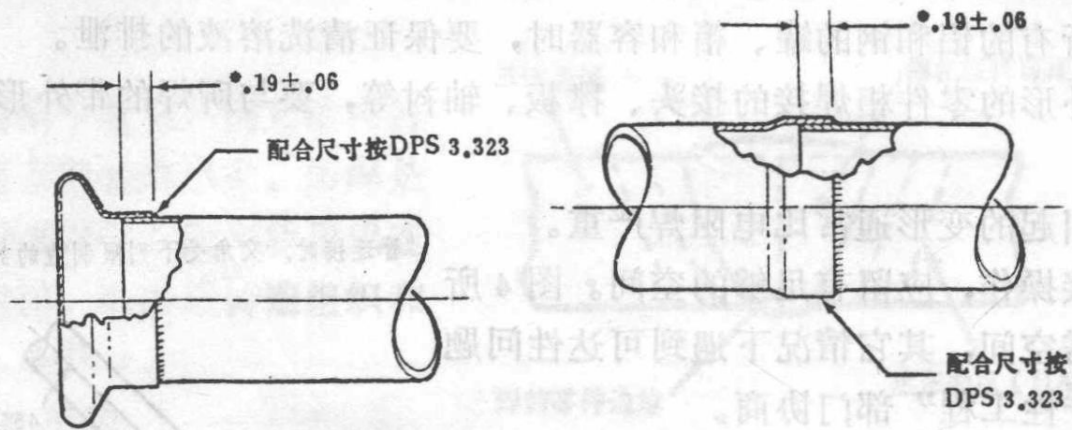
1.5.1.2.2 费用考虑如下:

A. 焊接的费用综合了焊缝熔敷金属量、坡口制备、工件的可达性和焊后清理量等因素。为了使费用降至最低, 焊接的工作量应越小越好。



为获得最佳可生产性和焊接接头完整性，交叉结构处焊接应用以下设计惯例。

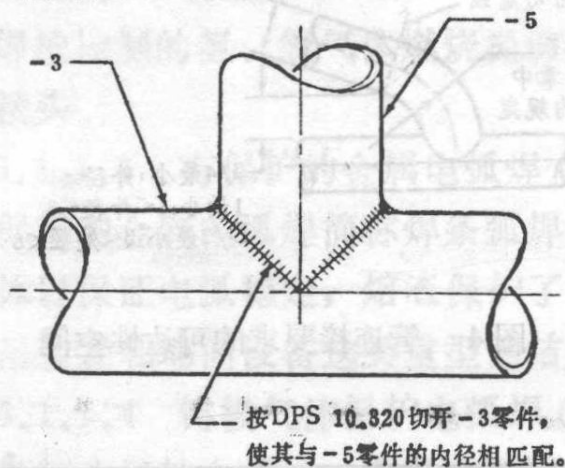
结构管/导管“搭接”接头



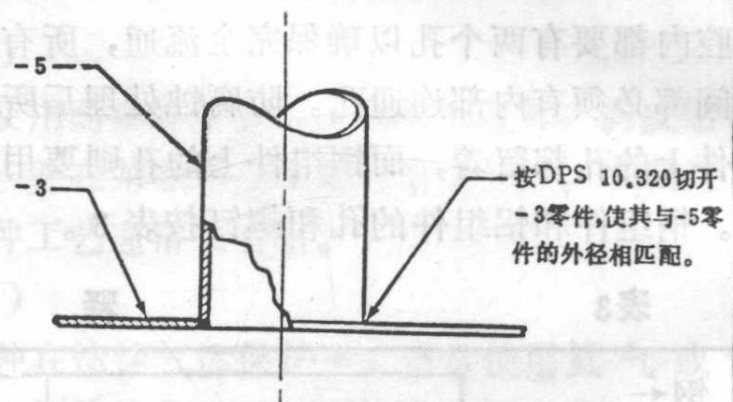
• 对于INCONEL 718为  $.44 \pm .06$

注：模锻锤制造的导管，其外径比法兰内径小0.06。

相交接头（支路接头）



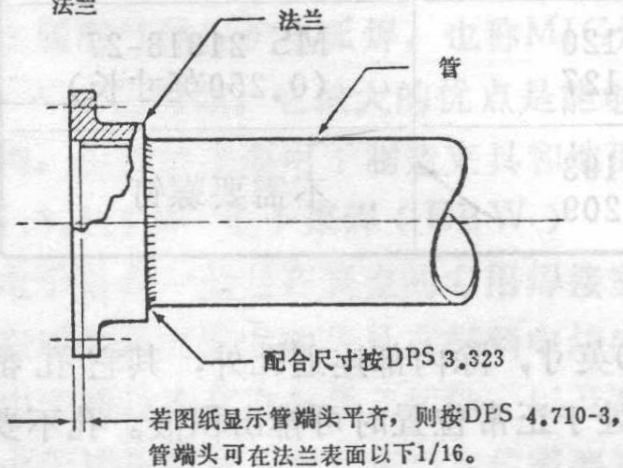
管与薄板（平接）



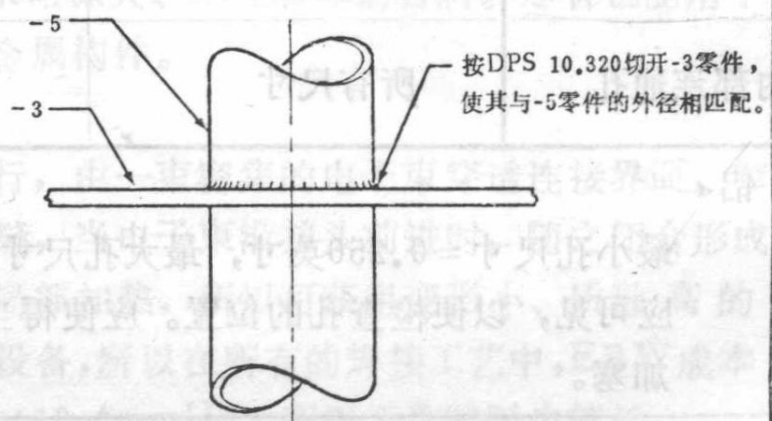
注：DPS 10.320允许(-3)切开后其边缘贯入支管(-5)内径的最大量为0.03英寸。若流动要求不允许，则应规定较小的贯入量。

例：“切开-3零件，与-5零件内径匹配，容差范围0.005”。

法兰



管与薄板（贯穿）



为避免发生过盈配合，应标出法兰内径。

注：模锻锤制造的导管，其外径比法兰内径小0.06。

图4-1 熔焊组件的图纸附注



B. 多道焊需要清除前道焊接的熔敷焊道，从而增加了费用。

C. 对于纵向受剪焊缝，在接头可达性最好的一边进行单道填充焊是最经济的焊接方法。

D. 凡有可能，焊接件应以“焊接状态”使用（不再热处理）以免热处理变形和费用增加。如果焊接件必须热处理，在设计中应预先考虑变形问题。

### 1.5.1.2.3 尺寸与比例

A. 不同厚度的零件对焊时，如果厚度比超过图5所示的最大值，会出现严重问题。熔化两个不同厚度的零件所需的热量无法准确地控制，因而薄的零件可能会被烧穿。

B. 不同的待焊材料，各有一个最小厚度值。当小于这个厚度时，不得超过临界比值。图5给出根据薄板厚度变化的最大不匹配比值。这些最大比值适用于厚度 $\leq 0.060$ 的钢和钛合金薄板及厚度 $\leq 0.100$ 的铝合金薄板。

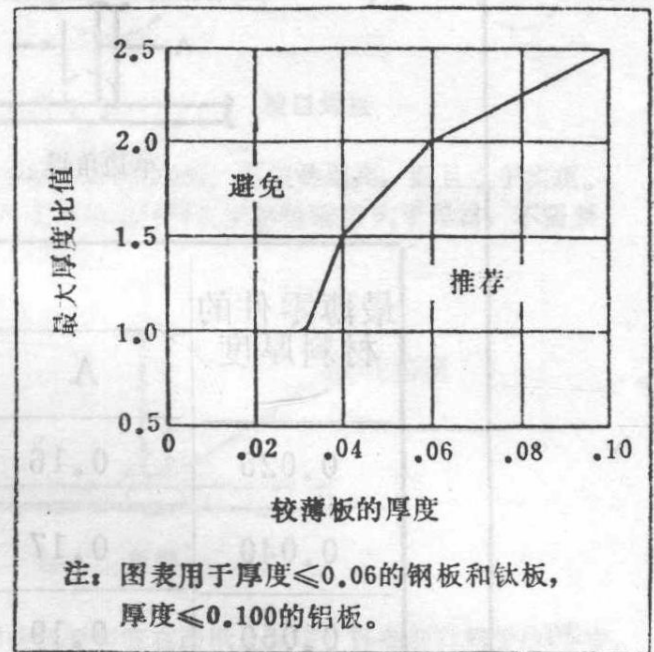


图5 要求的厚度比值

C. 零件厚度的变化，最好由机加工完成。这样不仅能减小厚度比值，而且能使焊缝避开载荷过渡区（见图6）。

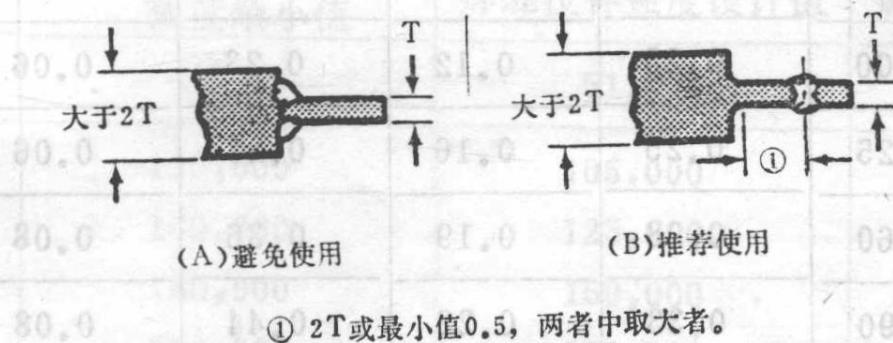


图6 厚度变化时正确的选用举例

D. 对于不同厚度的材料，焊缝的近似尺寸见图7。图纸上不注焊缝尺寸。

E. 最大焊接间隙常由DPS 10.320规定，但如希望注全焊前零件尺寸（如分开精加工的零件），则焊接间隙按表4。

### 1.5.1.3 接头设计

#### 1.5.1.3.1 强度

A. 铝合金和镁合金的熔焊接头通常认为不能用于主要结构。

B. 对于低碳钢，当最小尺寸的角焊缝提供的载荷传递能力比要求的大时，可采用断续焊接。

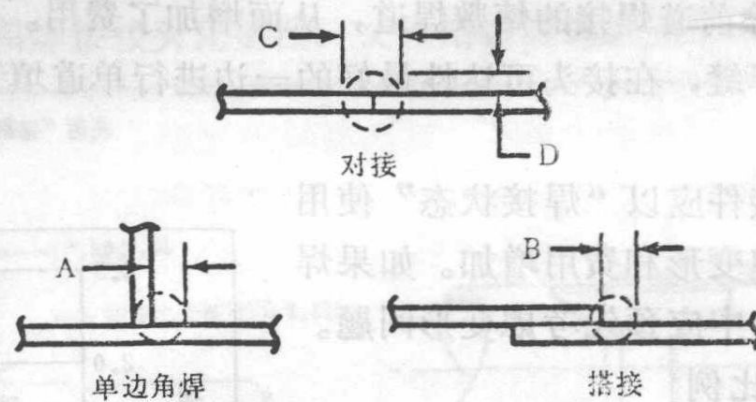
C. 最强的焊缝见图8。

D. 使焊缝根部承受张力的弯曲载荷是焊缝承受的最严重载荷，应予避免。

E. 焊缝和邻近的材料比母材的韧性差，因此，承受大载荷的结构应注意避免应力集中源（截面的突变和缺口）。

F. 钢熔焊接头的强度取决于焊接工艺和材料，对于所有可热处理的低合金钢，必须在





最薄零件的材料厚度	焊缝尺寸*			
	A	B	C	D
0.025	0.16	0.05	0.06	0.03
0.040	0.17	0.08	0.09	0.03
0.050	0.19	0.11	0.12	0.03
0.063	0.19	0.12	0.16	0.03
0.080	0.23	0.12	0.19	0.05
0.090	0.23	0.12	0.20	0.05
0.100	0.25	0.12	0.23	0.06
0.125	0.25	0.16	0.28	0.06
0.160	0.28	0.19	0.36	0.08
0.190	0.33	0.22	0.44	0.08
0.250	0.38	0.28	0.56	0.09
0.312	0.47	0.34	0.70	0.11
0.375	0.56	0.42	0.84	0.11
0.500	0.75	0.50	1.12	0.12

\* 焊缝尺寸不在图纸上标注

图7 焊缝尺寸与材料厚度的关系

图纸上注明焊缝拉伸强度的设计值，以保证选用适当类型的焊条（电极）（见表5）。

G. 当6061或6063材料在热处理状态下熔焊时，焊缝区的强度降低，通常的也是最经济的生产工艺是零件先热处理再焊接，并使用焊接状态的组件。如果焊接区要求更高的性能，且部件能够进行热处理而不会有太大的变形，则应在图纸上注明对部件进行热处理（标注见第二章：《图纸附注》410类，热处理）。

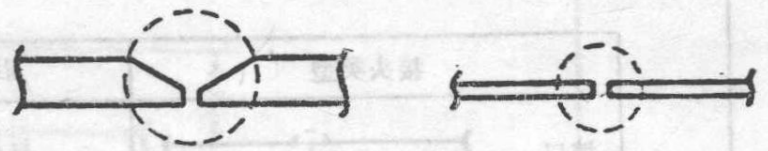


### 1.5.1.3.2 其他

A. 相对的连接质量见图9。

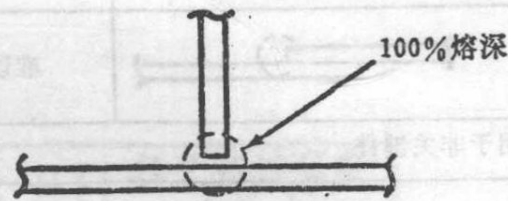
B. 卷边焊用于焊接模压成形的半管道和类似零件，可如图9表示。焊接时卷边熔化，这样在薄板件的两边各形成一条焊道，焊后很少或不留卷边的痕迹。有关卷边高度和卷边半径的要求见图10。图纸上要标注卷边半径。

1. 接口熔深100%的坡口焊接，从一面或双面焊，在任何载荷情况下，都是承载能力最大的焊缝。



坡口焊接

2. 角接头熔深100%，不但费用高，而且难于实现。通常双面角焊接接头的焊缝强度大于母材，不需要100%熔深。



角焊

注：焊接接头的斜口应在图纸上标出，标准斜口列于DPS中，对于其它类型的接头，不需要规定熔深。

表4 要求的焊接间隙

材料厚度	最大间隙
$\leq 0.050$	T/2
0.063~0.071	0.03
$\geq 0.080$	0.06

注：最大间隙由最薄待焊材料厚度决定。

图8 有最大承载能力的接头

表5 可热处理低合金钢的焊缝强度

	规定的基材热处理强度最小值	焊缝拉伸强度设计值	焊缝剪切强度设计值
见注1	任意	51,000	32,000
见注2	125,000	105,000	63,000
	150,000	125,000	75,000
	180,000	150,000	90,000
	220,000	150,000	90,000

注1. 对所有的接头，不管母材的热处理如何，如果是按熔敷金属极限拉伸强度 $\leq 51,000$ psi设计的，则规定焊缝拉伸强度设计值为51,000psi。这样就可能用价格低的不可热处理的焊条或电极。

注2. 当要求更高的焊缝强度时，必须使用可热处理焊条或电极，并且焊件焊后必须热处理。规定的焊缝拉伸强度设计值如上表。

C. 当密封性比强度更为重要时，两条或三条边卷边焊是一种经济的加工方法。卷边焊可以用图来表示，连接的尺寸标注如图11所示。卷边焊不用于承受噪声载荷或焊缝根部承受拉伸或弯曲载荷的场合。

D. 铝的搭接焊，如鞍形搭接焊，是很难预料的焊接接头，并且很难检查。这种类型的焊接接头不能用于关键件（见图9，注）。若必须用鞍形接头，焊接处鞍形应设计为对接（坡口）焊接。

### 1.5.2 电阻焊

点焊和缝焊都属于电阻焊，是一个电过程，工件对焊接电流的电阻及电极压力在贴合面