

第一章 概 述

现代飞机的壳体都属薄壁结构，因此采用板料、型材、管料制造的钣金零件数量很多，比重很大。图 1-1 是飞机钣金零件的一些例子。

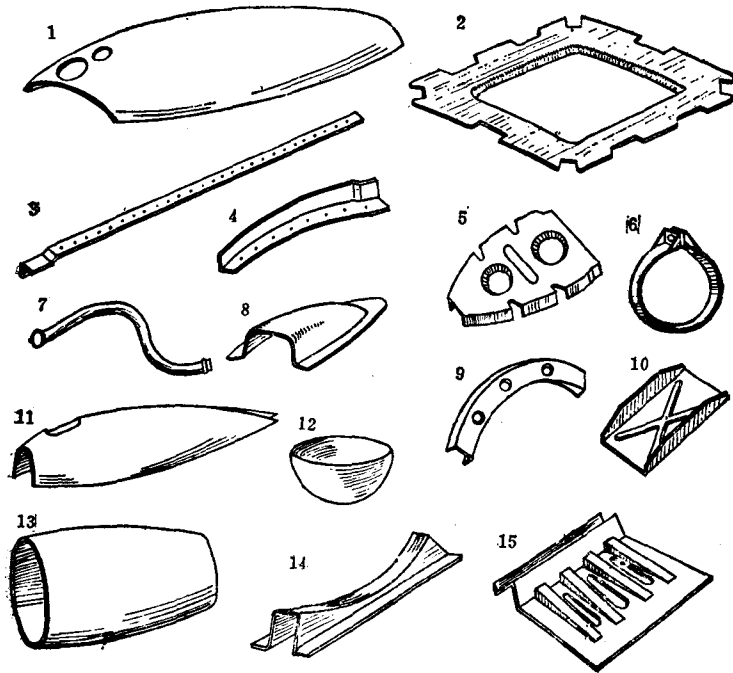


图1-1 飞机钣金零件


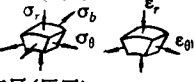
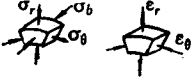
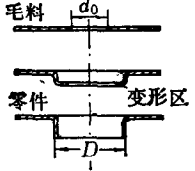
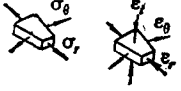
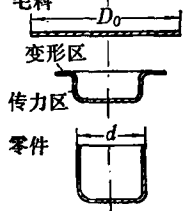
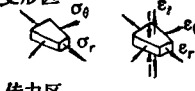
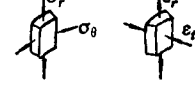
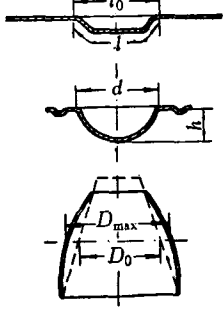
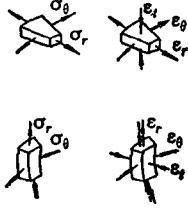
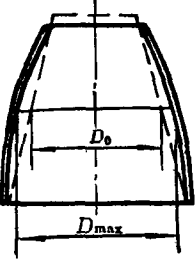
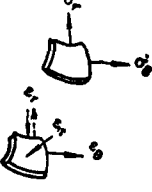
1—蒙皮；2—口框；3—长桁；4—肋缘；5—翼肋；6—卡箍；7—导管；8—整流罩；9—框缘；10—隔板；11—翼尖；12—半球；13—副油箱壳体；14—支架；15—加强板。

根据对我国现行生产的飞机的调查，可看出：有色钣金零件的项数占全机零件总项数的 40% 左右，制造工时占全机总机总工时的 12% 左右。钣金零件的数量，一般歼击机在一万件以上，轰炸机在四万件以上，而大型运输机则达六万件以上。可见钣金零件的制造对全机的制造质量和成本都有重要影响。

一、钣金零件变形的基本特点

钣金零件的种类繁多，形式各异，成形方法多种多样，但最基本的变形方式不外乎是弯曲、翻边、压延、局部成形（或胀形）。它们的应力应变状态和变形程度的表示方法如下表：

表1-1 钣金零件的基本变形方式

变形方式	简 图	应 力 应 变 状 态 ^①	变 形 程 度
弯 曲		<p>外区(拉区)</p>  <p>内区(压区)</p> 	<p>相对弯曲半径</p> $\frac{R}{t}$
翻 边			<p>翻边系数</p> $K_F = \frac{d_0}{D}$
压 延		<p>变形区</p>  <p>传力区</p> 	<p>压延系数</p> $m = \frac{d}{D_0}$
局 部 成 形			<p>平均延伸率</p> $\delta = \frac{z - z_0}{z_0}$ <p>相对高度</p> $\frac{h}{d}$
胀 形			<p>胀形系数</p> $K_2 = \frac{D_{max}}{D_0}$

① θ 为切向, r 为径向, b 为宽向, t 为厚向。

板料成形时，材料的变形区往往是以上几种基本变形方式的复杂组合。例如图 1-2 所示的框板，外缘相当于压延，内缘相当于翻边，而腹板上兼有翻边与局部成形。因此，在分析一个具体的钣金零件时，一方面必须将不同变形性质的部分加以明确区分，利用弯曲、翻边、压延、局部成形等基本变形方式，作为分析零件变形特点的主要依据；另一方面，还必须注意它们之间的相互联系，不能将不同变形性质的部分，作为一个个单纯的基本变形方式孤立地看待。

钣金零件的成形方法虽然很多，但从板料的变形性质来看，无非是“收”和“放”两种。

所谓“收”就是依靠板料的收缩变形来成形零件。

“收”的特点，表现为板料纤维缩短，厚度增加。

所谓“放”就是依靠板料的拉伸变形来成形零件。

“放”的特点，表现为板料纤维伸长，厚度减薄。

例如，压延即为“收”，翻边、局部成形即为“放”，弯曲中性层以内为“收”，以外为“放”。

“收”的主要障碍是起皱，“放”的主要障碍是拉裂，于是就产生了所谓成形极限问题。

为了判断具体零件一次成形的可能性，可以参考有关手册中所列举的成形极限参数，例如最小相对弯曲半径 $\frac{R_{\min}}{t}$ 、最小翻边系数 $K_{f\min}$ 、最小压延系数 m_{\min} 、局部成形最大相对高度 $\frac{h_{\max}}{d}$ 等等，但在使用手册资料时必须注意零件成形条件和资料试验条件是否一致，切忌盲目搬用。此外，现有的手册资料还远远不能满足生产实际的需要，所以在工作中应当重视实践经验的积累，培养判断复杂零件成形可能性的估算能力。

研究板料的成形极限，就是为了判断零件一次成形的可能性。但是，作为成形零件更为严格的限制因素，则是零件的成形质量如何？是否能全面满足技术条件的要求。

一般而言，钣金零件的成形质量，主要包括两个方面：外形准确度与厚度的变化是否超差。

由于金属在塑性变形过程中存在着弹性变形，如果不考虑模具精度等因素，则零件成形后外形准确度超差，归根到底是回弹造成的。

由于金属在塑性变形过程中体积不变，板料“放”时厚度减薄，“收”时厚度增加，零件成形后必然厚度不均。

回弹与体积不变是金属塑性变形的基本规律，是必然产生的现象。要求外形绝对准确，厚度均匀一致，对于钣金零件来说是不现实的。因此在满足零件使用要求的前提下，适当放宽质量标准，合理地规定钣金零件的技术条件，对于确保质量，提高劳动生产率具有十分重要的意义。

为了抵消或减少回弹，防止厚度超差，必须正确分析零件的变形性质与变形分布规律；判断那些部位是“收”，那些部位是“放”，那些部位的变形量大，那些部位的变形量小，以判断各个部位回弹的趋势，分析其厚度变化的规律，以便采取有效的工艺措施。

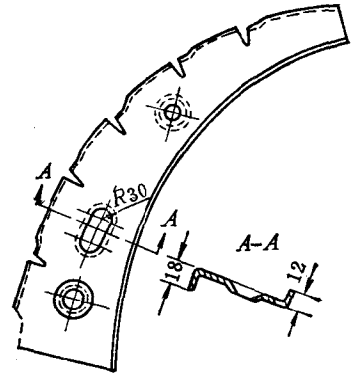


图1-2 框板

二、制造钣金零件用的材料及其热处理状态的利用

飞机钣金零件广泛采用铝合金、镁合金、合金钢、钛合金等作为原材料，其中以硬铝 LY12、超硬铝 LC4 应用最多，钛和钛合金的应用正在日益增加，现将常用材料的国产牌号及与之大致对应的国外牌号列表如下：

表1-2 钣金零件常用材料的牌号

类别	国别	中国	苏联	美国	英国	日本	法国	西德	备注
	标准	GB(YB)	ГОСТ	ASTM (A1S1)	B·S	JIS	NF	DIN	
硬铝		LY11	Д1	2017	DTD	A2017	A-U4G	AlCuMg1	可淬火 强化
		LY12	Д16	2024		A2024	A-U4G1	AlCuMg2	
超硬铝		LC4	B95	7075		A7075	A-25GU	AlZnMg1.5	可淬火 强化
防锈铝		LF2	AMГ	5052	N4	A5052	A-G2	AlMg2	淬火不 能强化
		LF3	AMГ3	5154	N5	A5154	A-G3	AlMg3	
		LF21	AMLI	3003	N3	A3003	A-M1	AlMn	
变形 镁合金		MB8	MA8			AZ80A		AM537	淬火不 能强化 可人工 时效强化
		MB15	BM65-1	AK60A	DTD5031 DTD5041	AK60A			
钛合金		TA2	BT1-1	Ti-50A	IMI125	KS60			淬火不 能强化
		TA7	BT5-1	Ti-5Al-2Sn	IMIB6	KS115AS			
		TC1	OT4-1		IMI315				
		TC4	BT-6	Ti-6Al-4V	IMI137		T-A6V		
钢		20	20	1020	En2C	S20C	C20	C22	淬火不 能强化 可淬火 强化
		30CrMnSiA	30XГCA						
		1Cr18Ni9Ti	1X18H9Ti	321	EN58F~ EN58G 1631B, N6	SUS43			

从零件使用的角度看，要求材料有良好的机械性能。从零件制造的角度看，要求材料有良好的工艺性能，对于钣金零件就是成形性能应该好。这两个方面的要求是不同的，有时还相互矛盾。例如零件使用时总希望材料在有一定塑性的条件下强度尽可能高，而零件成形时总希望材料塑性尽量高而变形抗力尽量低。在工程实践中，解决这个矛盾的方法是利用材料的热处理状态。例如在退火状态下成形零件，然后淬火后使用。表1-3和表1-4分别是伟健机械厂和峨嵋机械厂的试验数据，可明显看出：这两类铝合金在退火状态及新淬火状态下，成形性能好而强度指标低；在淬火时效状态下，强度指标高而成形性能差。

表1-3 LY13的性能参数

热处理状态	性能参数		
	σ_b 公斤/毫米 ²	$\sigma_{0.2}$ 公斤/毫米 ²	δ %
退火	17.5	9.0	18.6
新淬火	32.6	13.6	21.5
淬火，自然时效	45.7	29.5	15.6

表1-4 LC4的性能参数

热处理状态	性能参数				
	σ_b 公斤/毫米 ²	$\sigma_{0.2}$ 公斤/毫米 ²	δ %	细颈点应变 h	厚向异性指数 r
退火	20.3	9.8	16.7	0.13	0.64
新淬火	33.7	12.9	20.2	0.17	0.9
淬火, 人工时效	55	46.9	12.9	0.09	1.09
淬火、冷藏、人工时效	55.2	48.5	11.5	0.08	0.94

硬铝和超硬铝合金主要的热处理状态如下：退火状态（我国称为M状态，美国称为O状态），是将材料加热到一定温度，保温一段时间，使合金组织发生恢复与再结晶，然后进行缓冷，使材料获得最软的稳定状态。硬铝和超硬铝的淬火强化需经固溶热处理（淬火）和沉淀硬化（时效）两个阶段。淬火是将材料加热到一定温度（LY12为 $498^\circ \pm 3^\circ\text{C}$ ，LC4为 $470^\circ \pm 5^\circ\text{C}$ ），保温一定的时间（根据材料厚度而定，例如0.8~1.0毫米需保温10分钟），使合金中可溶的强化相，向固溶体中充分溶解，然后进行骤冷，获得亚稳定的过饱和固溶体。这种过饱和固溶体是不稳定的，可溶相的质点会自发地、逐渐地重新从固溶体中呈弥散状析出，从而使材料逐渐变硬—塑性逐渐降低，强度逐渐提高，最终达到强化后的稳定状态，这个过程称为沉淀硬化。也就是说，材料淬火后，要达到稳定的强化状态，需要一定的时间，这个过程又称为时效。在室温下进行这个过程，称为自然时效；在一定温度下进行这个过程，称为人工时效。LY12淬火后在室温下经4~5天后，便能自然时效到最高强度。加温可以缩短时效时间但降低了抗蚀性，因此一般不宜采用。LY12淬火自然时效到规定强度的稳定状态，我国符号为LY12CZ，美国符号为2024T4。LC4淬火后自然时效的效果不好，即使在室温下存放2~3个月也达不到最高强度的稳定状态，同时抗蚀性也不好，因此都采用人工时效。LC4淬火人工时效到规定强度的稳定状态，我国符号为LC4CS，美国符号为7075T62（用户淬火人工时效）或7075T6（铝厂淬火人工时效）。淬火后在室温下存放期间的不稳定状态，我国尚未规定符号，美国叫W状态。淬火后在较短的时间内，材料仍具有接近甚至优于M状态的良好塑性，这种状态叫新淬火状态。它在钣金工艺中极为有用，我国尚未规定符号，美国叫AQ状态。新淬火状态是不稳定的，在室温下对LY12大约只有0.5小时，对LC4大约为1.5小时，美国关于AQ状态的规定，在室温下对2024为15分钟，对7075为一小时。新淬火状态在室温下能保持的时间很短，但在低温下能持续很久。表1-4的冷藏参数是 -15°C ，48小时。实验证明：新淬火后在 -15°C 下存放四昼夜；从冷藏箱取出时，其性能参数仍很接近新淬火时的参数。经时效后能达到的性能参数，也和未经冷藏的试样一样。

同一牌号的材料可有多种不同的状态。原材料出厂时的状态叫供应状态，零件图纸上要求的材料状态叫使用状态。一般钣金零件的使用状态都要求是淬火时效。对于一般形状简单，成形中变形量不大的零件，应直接采用淬火时效后的硬料作为毛料，这样在加工成形之后，不需要再进行热处理。但大多数钣金零件变形量较大，采用硬料无法成形。目前我国一般采用的方法是：选用退火状态的毛料，成形后再进行淬火，然后再校修淬火引起的变形。后者的工作量很大，据统计约占钣金零件手工工作量的30~40%。目前铝合金淬火，我国一般采用的方法是：用硝盐槽加热，放入水槽骤冷，高温零件受水撞击，而且

各点冷却速度不均，使成形好的零件产生很大的翘曲变形。

减少淬火后手工校修量是当前钣金零件生产过程中技术改造的主要问题之一，解决这个问题的途径有两个：其一是想法减小淬火变形，例如用聚醚二醇水溶液代替水作为淬火的冷却液，或者采用空气循环炉代替硝酸盐炉加热；其二是采用新淬火料成形，将平板毛料淬火后通过多轴校平机校平，接着在新淬火状态下成形，彻底免除了校修淬火变形的工作。新淬火料成形在英美航空工业中已是采用多年的成熟工艺，我国正在大力推行。为此，需要改变生产的组织管理形式。需要在成形车间现场添置冷藏室或冷藏箱。一批毛料淬火后，立即经多轴校平机校平，送入冷藏，以后随时取出毛料，随时成形。值得注意的是：新淬火状态的材料比M料有较高的 $\sigma_{0.2}$ 和 σ_b ，所需的成形力和回弹量也都比M料稍大，国产材料在这方面比相应的国外材料突出，另外，从冷藏室取出的毛料要求在很短的时间内完成成形工作（例如CY12要求在半小时以内），所以必须努力提高钣金零件成形的机械化程度。

有些变形量很大的零件，往往需要多次成形，为了消除冷作硬化，提高塑性，以利于继续成形，应安排中间退火工序。在较高温度下进行完全退火，能消除淬火强化、冷作硬化和內应力。但当材料在退火前的冷作变形率恰好在合金的临界变形范围以内时，完全退火会造成材料的晶粒粗大。故在成形工序之间的中间退火，宜采用瞬时（不完全）退火。瞬时退火能消除冷作硬化和部分消除淬火强化，不至于引起有害的晶粒长大现象，但在后续冷作变形中，其冷作硬化比完全退火的要快些。

对于钛合金，目前具有实用意义的热处理主要是退火，其次是淬火、时效。在再结晶温度以上进行高温退火（多数合金温度为 $650\sim 850^{\circ}\text{C}$ ），能使钛合金的组织稳定，获得良好的综合机械性能。退火状态的钛合金在冷成形，或在再结晶温度以下的热成形后，都带有较大的內应力。为了防止零件在存放中自行开裂或变形，为了恢复材料原有的机械性能，在成形后都应安排退火工序，在再结晶温度以上成形时，可将成形与退火工序合并进行。

TC4可以热处理强化，淬火加热温度为 $950^{\circ}\pm 10^{\circ}$ ，在水中冷却，然后在 538°C 保温 $4\sim 5$ 小时，进行人工时效。为了避免校修淬火变形，生产中也不采用零件成形后再进行淬火强化处理的办法，而常采用应力松弛成形（或校形）的办法，即将新淬火状态的毛料（或已经预成形的零件）在弹性变形范围内强迫装入成形夹具，送入炉中，在时效温度下保持几小时，再按退火要求缓慢冷却。材料在时效过程中，弹性变形变成了塑性变形，內应力消失，同时完成了成形后消除內应力的退火处理。钛在 427°C 以上会迅速氧化，因此需在金属表面覆盖防氧化涂层，或在惰性气体中加热。

对于钢件，在成形过程中，可以安排中间退火来恢复材料的塑性。耐热合金钢在成形后常需安排最后退火来消除內应力。对可淬火强化的钢，淬火工序一般都安排在成形工序之后。校修钢件淬火变形的问题比铝件更加严重。对某些钢材可以采用与钛合金应力松弛校形类似的办法，在夹具内回火，即将已经预成形淬火的零件在弹性变形范围内强迫装入校形夹具，送入炉中，在回火温度下保持数小时，再按退火要求缓慢冷却。把回火和校修淬火变形合一，免除了极为困难的手工校修。

三、钣金零件的表面处理

硬铝和超硬铝的抗腐蚀性能差，为了提高其抗蚀性能，往往在板材表面包覆一层纯铝（包铝层）。供应状态要求无包铝层时，要在材料牌号加注符号B；要求加厚包铝层时，需加注符号J；未加注符号就表示有普通包铝层。纯铝和氧化作用生成一层细密的 Al_2O_3 薄膜，能防止进一步氧化，故纯铝在大气中具有良好的抗蚀性。包铝层很软，很易划伤、擦伤。因此，在贮存、搬运和加工过程中，应该特别注意对原材料和零件表面的保护，对蒙皮类零件更是如此。我国目前常用的保护办法是贴牛皮纸。贴纸和剥纸费工，效果也不好。有的国家，在贮存和运输过程中采用各种可剥性的塑料薄膜层保护；在加工过程中采用透明保护层，还有一定的润滑作用。包铝层划伤、擦伤后，可按规定进行抛光修补。

为确保抗蚀能力，硬铝钣金零件最后都要阳极化处理。通过电化学反应，使铝合金表面生成一定厚度的致密的氧化薄膜（ Al_2O_3 膜）。这种氧化膜具有很好的抗蚀性和附着力。阳极化的大致过程是：将清洗（包括除油、碱洗、酸洗等过程）干净的铝合金置于稀硫酸水槽中。硫酸的浓度为120~180克/升，起电解质的作用。通以直流电，通电时阳极与工件相接（阳极化由此得名），阴极接在悬于电解液中的铅板上。直流电的用量为：电压13~22伏，阳极电流密度1~1.5安/分米²，通电时间27~40分钟。在这期间，带有负电荷的氢氧根离子（OH⁻）与阳极（工件）作用，产生氢气（H₂）和新生氧（O）。新生氧的氧化能力极强，与铝作用后生成附着牢固的氧化膜。后者具有细微气孔，还需在90~95℃的热水中浸煮20~25分钟，使氧化膜产生水化作用，体积膨胀，将气孔堵塞。这一后置过程称为填充处理。填充后的氧化膜，保护性能可大大提高，不带颜色，所以又称无色阳极化。

为了进一步提高氧化膜的保护性能，填充处理可以改用浓度为40~55克/升的重铬酸钾（ $K_2Cr_2O_7$ ）溶液，也在90~95℃下浸煮20~25分钟。这时，除了水化作用外还有重铬酸钾与氧化膜的化学作用，使工件表面呈黄绿色，故称为黄色阳极化。黄色阳极化用于飞机的内部零件。而外表零件（蒙皮、整流罩等）都采用无色阳极化，然后再喷一层罩光漆。

除了普通阳极化外，还有一种硬阳极化。它的工艺规范特点是：电解液的温度低（-6~0℃），电量（60~100伏，2.5安/分米²），通电时间长（约一小时，视氧化膜的厚度要求而定）。所获得的氧化膜强度高、硬度高，具有极好的抗蚀能力与抗磨能力，适合作机炮部位的蒙皮等零件。

黑色金属原材料一般涂油保护。在贮存、搬运和加工中也需注意防止划伤、擦伤，不过问题不像有色板材突出。零件表面处理一般是电镀。大多数采用镀锌，要求耐磨的零件和装饰件用镀铬，要抗潮湿空气和海水腐蚀的零件则需镀镉。

第二章 下料工作

钣金零件的第一道工序往往是将原材料按需要裁成毛料或平板零件（平板零件约占钣金件的百分之十几）。批生产飞机钣金件的材料利用率一般只有 60~75%，下料工作中应特别注意提高材料利用率。

下料的方法很多，生产中应根据毛料的几何形状、尺寸大小、材料种类、精度要求、产量多少和设备条件等进行选择。各种下料方法按其工作原理可以分为剪裁、铣切、冲裁、锯切和熔切等。冲裁是在冲床上用模具冲切平板零件和毛料，将在“冲压零件的制造”中讨论。本章仅就其他下料方法的特点和适用范围作详细的介绍。

一、剪 裁

条料或其它由直线组成外形的毛料都用裁板机（龙门剪）（图 2-1 a）下料，其工作原理如图 2-1 b。板料按划线或用后挡板定位，后挡板的位置可用丝杠调整。剪裁时，压板先将板料压紧，然后装有上剪刀的拖板下行，板料在上、下剪刀交错时被剪开。龙门剪一般都将上剪刀斜向安装，以减少剪裁力，剪刀斜角 φ 介于 $1.5\sim 3^\circ$ 之间，这样剪裁厚料时，裁下的条料略带弯曲。龙门剪使用方便，送料简单，剪切速度快，精度高，但只能剪直线。

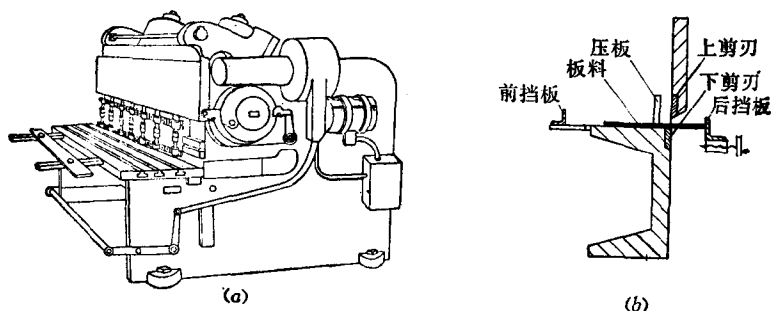


图2-1 龙门剪

(a) 龙门剪；(b) 龙门剪工作原理图。

板料用后挡板定位，其外悬部分因自重而下垂。外悬量和板料厚度的比值 B/t 愈大，定位误差也愈大。因此，条料宽度较大时（超过 300~400 毫米），应采用前挡板定位。前挡板的位置可用通用测量工具或样板定位。剪裁梯形和三角形毛料，可利用侧挡板定位（图 2-2）。

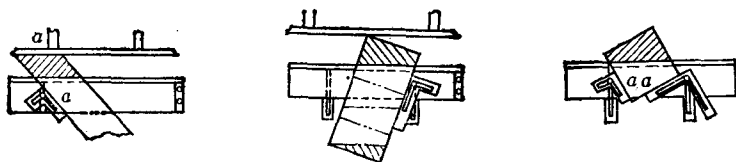


图2-2 用侧挡板的定位方法

剪裁曲线轮廓时可用振动剪（图 2-3）。图 2-4 是振动剪床的结构原理图。带偏心衬套 3 的传动轴 2，通过连杆 4 以及叉杆 6 和连杆 8 组成的肘拐将电动机的旋转运动变为刀座 10 的往复运动。上剪刀的振幅可用手柄转动偏心转轴 5 加以调整，冲制内孔时上剪刀的抬刀运动也用手柄操纵。剪裁时靠手工按划线送进。

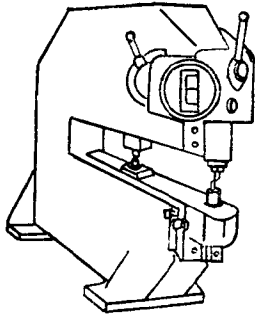


图2-3 振动剪

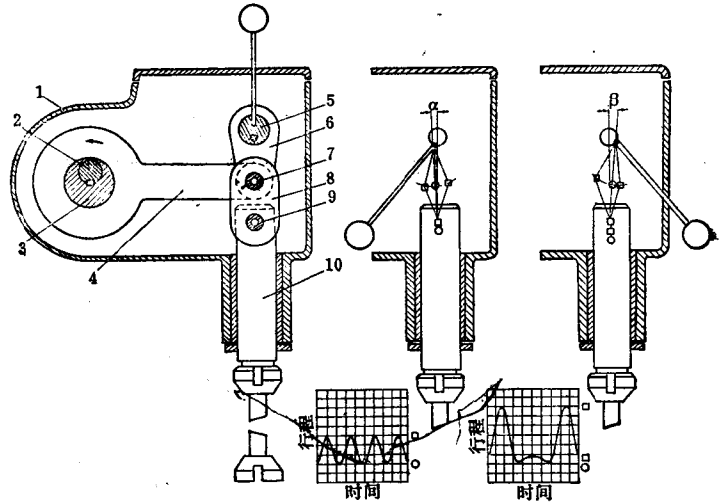


图2-4 振动剪的结构原理图

1—机匣；2—传动轴；3—偏心衬套；4—连杆；5—偏心转轴；6—叉杆；7—轴；8—连杆；9—轴；10—刀座。

振动剪的上剪刀每分钟运动 1500~3000 次左右。上下剪刀间的重叠量很小，一般在 0.2~1.0 毫米，所以能剪裁曲线轮廓。振动剪使用方便，但生产率和剪裁的精度都较低。生产中主要用于成形后零件的切边，也用来剪裁直线或曲线内外轮廓的毛料。对于大型零件（蒙皮、整流包皮等）的切边、开口或装配过程中的修合，经常采用手提式振动剪。

曲线轮廓的毛料也可用斜滚剪下料（图 2-5）。板料在滚刀摩擦力带动下自动送进，能用手工在剪刀表面自由转动，因而可以按照板料表面的划线剪裁曲线轮廓。但剪裁精度低，操作也较费力，一般用于制造数量少、外形要求不高的毛料。

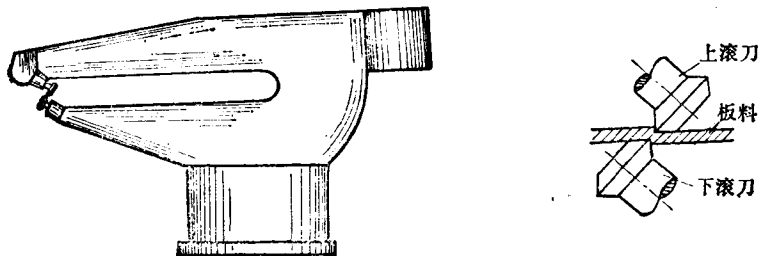


图2-5 斜滚剪

圆形毛料可用圆滚剪剪裁（图 2-6）。板料用支架及活动顶针座夹紧，使剪裁过程中受滚刀摩擦力的带动而自动绕顶针座旋转。

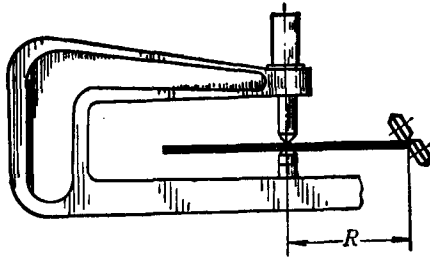


图2-6 圆滚剪

飞机工厂目前常用的各种剪床的技术特性如表 2-1 所示。

表2-1 各类剪床的技术特性

剪床名称	工 作 特 点				
	轮廓特点	剪裁板厚 (毫米)	加工精度 (毫米)	工作方法	剪裁后加工
龙门剪	直线外形	≤ 6	$\pm 0.1 \sim 0.8$	按划线或用定位板	
手板剪	各种凸曲线	≤ 2	± 0.5	按划线手动送料	去毛刺
圆滚剪	圆 形	≤ 2	± 0.5	手送料或用中心销	去毛刺
斜滚剪	各种曲线	≤ 2	$\pm 1 \sim 2$	按划线手动送料	去毛刺
振动剪	各种曲线	≤ 3	± 0.5	按划线手动送料	去毛刺
冲剪机	各种曲线	≤ 8	± 1.0	按划线手动送料	修 锉

剪刀间的间隙对剪断面的质量和尺寸精度有很大影响。合理间隙的数值取决于板料的厚度和材料的性质。

各类剪床的刀刃，采用工具钢或合金工具钢制成，例如 T7A、T8A、40Cr 等，热处理后硬度 HRc58~62。

二、铣 切

铣切下料是利用高速旋转的铣刀对成叠的板料按下料样板进行铣切。目前生产中，数量较大的大、中尺寸的曲线外形展开料主要是采用铣切下料。

尺寸较小的展开料是用钣金立铣下料，其工作原理如图 2-7 所示。机床的特点是：工件动，铣刀轴不动；靠柱与铣刀的直径相同。工作时，工人将夹紧的成叠板料沿台面推动，使样板始终贴紧靠柱，即可铣出与样板完全一样的毛料。

大尺寸的展开料过去一直采用苏联设计的回臂铣钻床（图 2-8）。机床支柱上的悬臂装有两个铰接式的活动支臂，支臂的端头分别装有钻头和铣头。把成叠的板料压紧在工作台上。铣切前后，可用钻头钻制各种工艺孔。铣切工作原理如图 2-8 b 所示。它的特点是：铣刀轴动，工件不动；靠环与铣刀直径不等。工作时，工人推动回臂，使铣头上的靠环压向铣切样板，即可铣出与样板外形相似而尺寸稍大的毛料。一般铣刀直径为 8 毫米，靠环直径为 19 毫米，所以铣出的毛料比铣切样

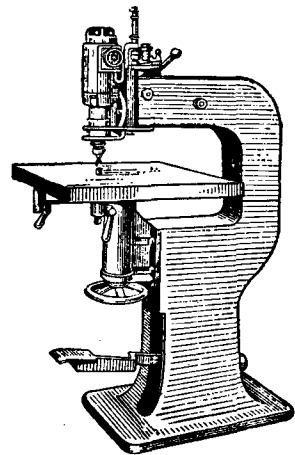


图2-7 钣金立铣

板大 $\frac{1}{2}(19-8)=5.5$ 毫米。

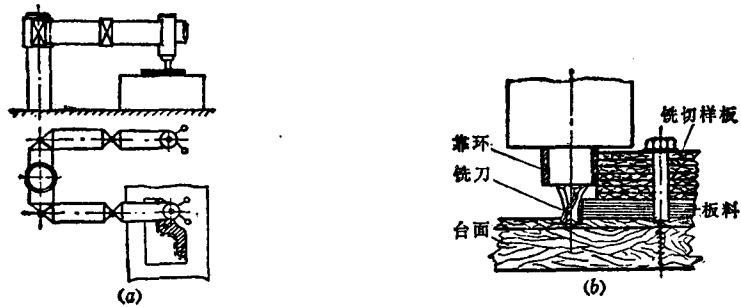


图2-8 回臂铣钻床

(a) 铣钻床结构示意图；(b) 铣切工作原理图。

这两种铣床都是靠人工送进，操作笨重，劳动强度很大。图 2-9 是我国航空工厂自制的龙门式钣金靠模铣床。铣头在龙门架上横向移动，龙门架沿机床台面纵向运动。协调纵、横方向的送进，即可保证铣头跟随靠模运动。铣头的纵向送进由一直流电动机通过齿轮齿条带动，电机转速采用可控硅调速。铣头的横向送进由手轮通过齿轮齿条实现。工人由站着改为坐着操作，座椅连接在龙门架上，一同纵向移动。这样下料实现了机械化，一同纵向移动。这样就使手工下料实现了机械化。随着技术改造的发展，目前国内已有采用液压仿形和穿孔纸带式数控系统来控制铣头的运动，从而使铣切下料工作自动化。

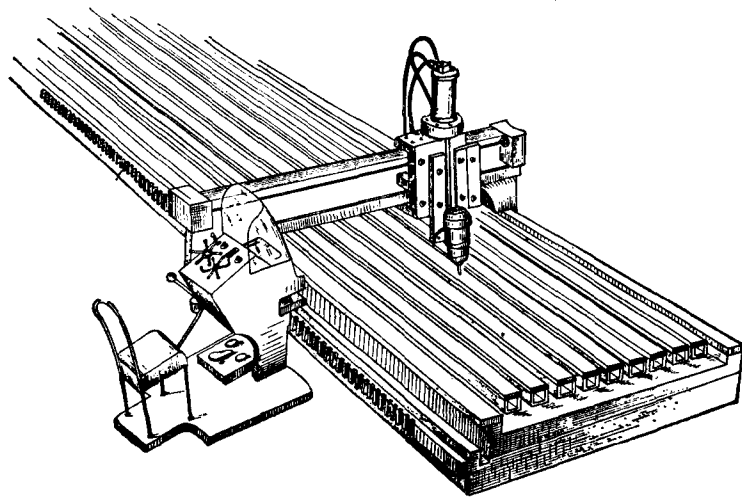


图2-9 龙门式靠模铣床

铣切下料时，每次铣切的总厚度可达 12~30 毫米。

三、锯切和磨切

锯切和磨切是型材和管材零件常用的下料方法。

带锯、盘锯、磨擦锯和摆锯适用于有色金属的切割下料。管子锯切时所用的锯条，其

齿距应小于管壁的厚度。大多数锯切边缘需要手工或机械加工。

砂轮磨切往往用于钢、钛和耐热合金的切割，但一般不适用于较软的材料，如铝、镁等，因为容易堵塞砂轮。磨切法的特点是高速旋转的砂轮片压在被切割的工件上，由磨削将工件切断。为了减少过热，避免热影响区材料产生相变而变硬、变脆，宜用小切削量，大量使用冷却液。用这种方法切割零件时，切断面平整光滑，但切口毛刺大，也需手工或机械打光。

四、熔 切

熔切是一种氧气切割或等离子切割钛钎，厚钢板的复杂外形零件的常用下料方法，熔切容易切割出曲线及内凹轮廓，但事后必须将整个熔切面除净。

熔切的设备、规范、尺寸精度及切断面质量随方法不同而差异很大。

二氧化碳激光熔切法和高压喷水切割法，也已开始应用。

第三章 冲压零件的制造

利用成对模具（凸、凹模）在冲床上加工零件的方法，统称为冲压。图 3-1 是典型普通冲床的原理图。图 3-2 是典型的冲裁模原理图。凸模通过上模座固装在冲床的滑块上，凹模通过下模座固装在冲床的工作台上，条料置于凹模工作面上，冲床每一行程即可冲出一个零件。冲压是一种机械化程度高、适于大量生产的方法，在机械制造业和轻工业等部门中得到广泛应用。在飞机制造业中，冲压方法大多用于批量较大的中、小尺寸零件。

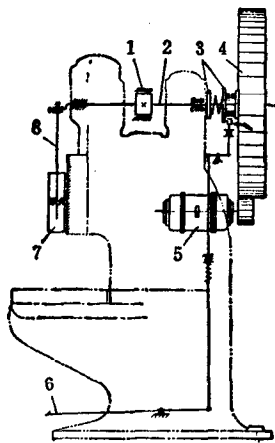


图3-1 偏心冲床

1—制动装置；2—偏心轴；3—离合器；
4—飞轮；5—电动机；6—操纵杆；7—
滑块；8—连杆。

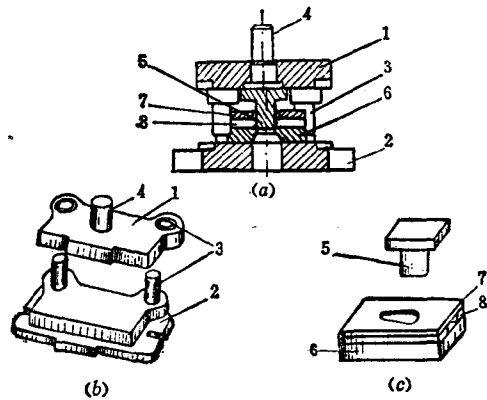


图3-2 冲裁模

(a) 冲裁模；(b) 模架；(c) 工作部分。
1—上模座；2—下模座；3—导向装置；4—模柄，
5—凸模；6—凹模；7—卸料板；8—导料尺。

按照冲压工序的不同，又可区分为冲裁、弯曲、压延、翻边和冷冲挤等。

一、冲 裁

冲裁用于生产各种形状复杂、精度要求较高，以及需要量较多的中、小平面零件和展开毛料，其上可以带有各种缺口和内孔(图3-3)。

冲裁实质上是一种封闭的剪切工序，冲裁模由起上剪切作用的凸模和起下剪切作用的凹模组成。凸模的尺寸比凹模的尺寸小，因此有间隙，冲裁过程中材料的变形可以划分为三个阶段(图3-4)：

1. 弹性变形阶段 在凸模压力作用下材料发生弹性压缩和弯曲。
2. 塑性变形阶段 凸模继续压入材料，金属产生塑性挤压、弯曲和拉伸。
3. 断裂阶段 板料从凸模和凹模刃口尖角出现裂纹，以一定角度自刃口深入材料，当上下裂纹会合时，板料就被冲断。检查板料的冲裁断口，可以看到反映塑性变形阶段的光亮带，以及粗糙发暗的断裂带。

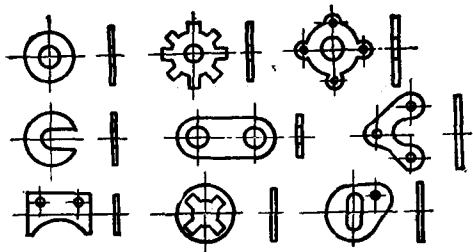


图3-3 冲裁零件

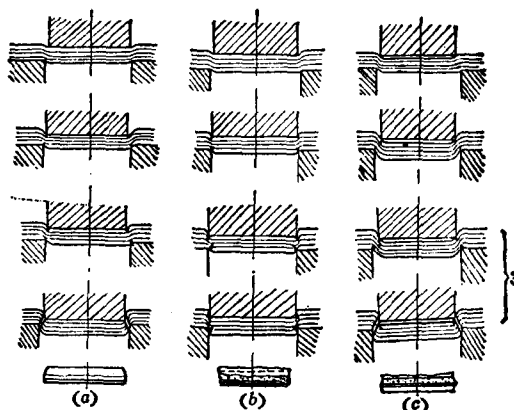


图3-4 冲裁过程

(a) 合理间隙; (b) 间隙过小; (c) 间隙过大。

冲裁件的质量指标主要有三, 即截面光滑, 尺寸准确, 外表平整。

冲裁模凸、凹模刃口的间隙是保证冲裁质量的重要因素。合理的间隙值应使从凸模和凹模刃边出发的两个裂纹互相重合, 这样所得的截面最好, 没有裂口和毛刺 (图 3-4 a)。当凸、凹模的间隙过小时 (图 3-4 b), 上下两个剪裂纹错开, 冲切零件上部有第二个光亮带和毛刺。当凸、凹模的间隙过大时 (图 3-4 c), 零件断面有拉断毛刺。采用合理间隙, 不仅可以得到最好的剪切面, 而且还使裁下的零件更符合模子工作部分的尺寸, 冲裁力最小, 模子的寿命最长。合理间隙的数值与被冲裁材料的厚薄、软硬、工件的产量、质量要求等因素有关, 可查有关手册。合理单边间隙为板料厚度的 2~20%。

决定冲裁件截面品质的另一个重要因素是凸模和凹模的刃边状况。很明显, 即使间隙合理, 如果模子冲刃磨钝后, 同样也会产生毛刺。凸模的刃边变钝, 会使裁件产生毛刺 (图 3-5 a), 凹模的刃边变钝, 会使所冲的孔边留下毛刺 (图 3-5 b)。如果凸模和凹模的刃边都钝, 则在裁件和孔边都会留下毛刺 (图 3-5 c)。因此, 当冲裁模经过冲裁一定数量的零件后, 应按规定进行修磨。

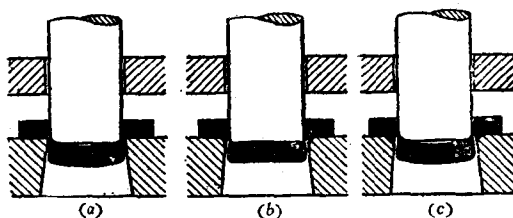


图3-5 冲模刃边变钝时形成的毛刺

(a) 裁件有毛刺; (b) 孔边有毛刺; (c) 裁件和孔边都有毛刺。

由于冲裁过程的特点, 裁件尺寸由凹模尺寸决定, 冲孔尺寸由凸模尺寸决定。在模具使用过程中, 间隙随着凸、凹模的磨损而逐渐扩大, 因此新制的模具应取间隙最小值。

对于裁件工作, 凹模的尺寸取为零件的最小极限尺寸, 间隙由减小凸模的尺寸得到。

对于冲孔工作, 凸模的尺寸取为孔的最大极限尺寸, 间隙由增加凹模的尺寸得到。

冲裁零件的外表平整度, 主要利用模子的结构形式来保证。模子上安装压料板, 可以显著提高零件的平整度。

冲裁力可按下式估算

$$P = 1.3L\tau_0 \approx L\sigma_s$$

式中 L ——冲裁轮廓长度;

t ——板料厚度；

τ_b ——材料的抗剪强度，对于大多数材料等于 $(0.6\sim 0.75)\sigma_s$ ；

1.3——安全系数。

飞机制造中所遇到的冲裁零件，一般要求不高，利用普通冲裁方法便可满足要求。或者再增加一个去毛刺工序。但在钟表和精密仪表制造部门，如果零件的尺寸准确度和截面光滑度的要求较严，例如精度达到 2~4 级以上，光度达到 $\nabla 7\sim\nabla 8$ 时，就需采取特殊措施，即在冲裁后加以整修，或将整修与冲裁合在一起，采用所谓精密冲裁。

整修工作是利用专用模具对冲裁件或冲裁孔进行补充加工，除去余量，达到提高零件精度和光度的目的。图 3-6 是最常用的利用切削原理的整修法。在凹模上放上粗具外形的冲裁件，用凸模加压，将其挤入凹模洞口。这时凹模的刃边逐渐剥离毛料的边缘余量，产生出光滑整齐、尺寸准确的零件截面。

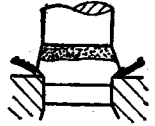


图3-6 冲裁件的整修

精密冲裁的方法有许多种，有圆角精冲、负间隙精冲、强力压边精冲等。强力压边精冲法，是目前国内外应用最普遍的一种精冲方法。这种方法除了采用极小的冲裁间隙（单边间隙为材料厚度的 0.5%），凹模（或凸模）刃口略带小圆角（0.01~0.03 毫米）外，又附加了 V 形压边环以及顶件装置，如图 3-7 所示。V 形压边环的作用在于限制冲剪区以外的材料流动，以形成三向压应力状态，从而避免剪裂纹的产生。顶件装置也起类似的作用。精冲小孔时，由于冲头刃口外围的材料对冲裁区有较大的约束作用，因此可以不用 V 形环。当冲孔直径达 30~40 毫米以上时，在顶杆上也应考虑加制 V 形环。当材料厚度 $t > 4$ 毫米时，应在压边圈和凹模表面都制作 V 形环。强力压边精冲件的断面垂直，表面平整，零件精度可达 4~2 级，光洁度达 $\nabla 7\sim\nabla 8$ 。圆角精冲和负间隙精冲这二种方法仅适用于软铝、紫铜、黄铜、08F 等塑性较好的材料。

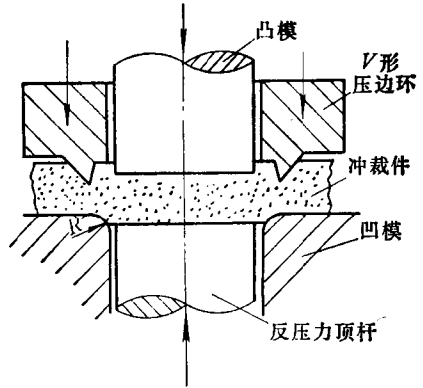


图3-7 强力压边的精密冲裁

圆角精冲和负间隙精冲这二种方法仅适用于软铝、紫铜、黄铜、08F 等塑性较好的材料。

冲裁模的最主要的工作元件是凸模和凹模。根据工序的性质，冲裁模又分为落料模（冲制零件外廓），冲孔模（冲制零件的内孔），切断模（切断条料或型材），切边模（冲切已成形成零件的周边余量），切口模（冲制长桁缺口）等多种形式。如果按其完成工序的复合程度来分，则有简单模、连续模和复合模三种。

简单模只有一对凸、凹模，在每一冲程中只能完成一种裁件或冲孔工作。例如圆形垫圈用简单模制造时，需要两套简单模，一套用于冲裁外廓，一套用于冲出中间的孔。但是这种方法劳动生产率低，冲出的零件准确度较差。在批量较大的情况下，可以采用图 3-8 所示的连续模和图 3-9 所示的复合模。连续模是在一个模具上，依次完成冲孔与冲外廓两个工序，冲外廓时即以中间冲出的孔定位毛料，这样冲床每一冲程即可获得一个完整的零件。复合模则是将冲孔与冲外廓两个工序复合在一起，下模既是冲孔的凹模又是冲裁外廓的凸模，称为凸、凹模。这样冲床每一行程，也可冲出一个零件，冲出的垫圈内孔与外廓

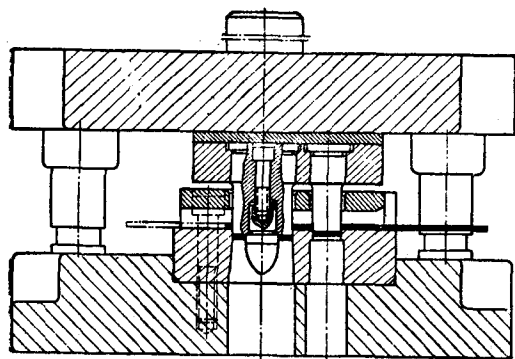


图3-8 连续模

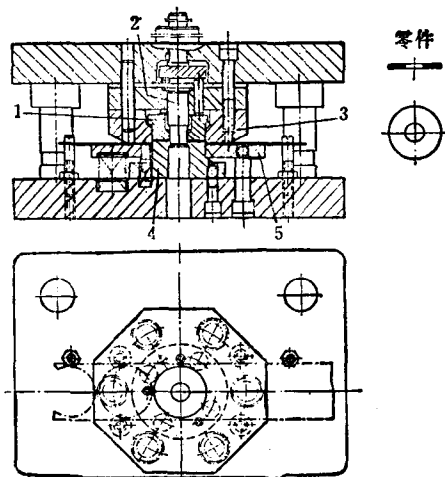


图3-9 复合模

1—顶件器；2—冲孔凸模；3—裁件凹模；
4—冲孔裁件凸凹模；5—卸料板。

的关系更准确，零件更平整。连续模与复合模则制造复杂，成本较高，生产中应合理选用。

冲裁的生产率高，模具的寿命长，容易获得准确的、可互换的零件，但模具的制造较复杂，费用高，加工周期长，因此冲裁模必需向着简化和通用化方向发展，才能适应飞机制造的特点和需要。简化和通用化的下料模主要有：

1. 夹模(图 3-10) 凸、凹模都可用 3~5 毫米厚的 45 号钢板制成。由于使用中夹板要绕固定端转动，凸、凹模的间隙必须偏大，因此冲裁质量差，凸、凹模容易啃伤。根据一些工厂的经验，适用夹模冲制的零件尺寸范围约为：110×160 毫米² 到 200×450 毫米² 之间。冲裁硬铝的厚度以 1.0~2.0 毫米为宜。 模子寿命可达 2000 件。

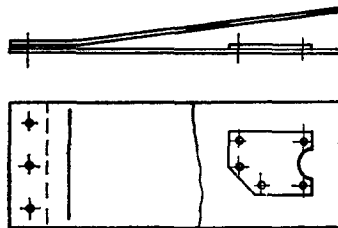


图3-10 夹模

2. 板模 有利用电磁模座和利用通用模架的两种板模形式。

图 3-11 为电磁模座的简图。上、下模座内装有励磁线圈和铁芯。通过整流器供给线圈直流电，靠通电后在模面上产生的磁力固定凸、凹模。据一些工厂的经验，当电磁吸力超过 9 公斤/厘米²，凸、凹模就能可靠地定位在上、下模座上。凸、凹模一般用 12 毫米厚的 45 号钢板制成。为了卸料和顶件，将粘贴有软钢片的橡皮块布置于凸、凹模刃边的四周。某厂已用电磁模座成功地冲出平面尺寸为 1405×250 毫米²、厚 2.5 毫米、材料为 30 CrMnSi 的工件。

装在通用模架上的薄板模在我国飞机工厂得到了广泛的应用。薄板模由凸模、凸模底板，凹模、凹模底板，分别以埋头铝铆钉连接而成(图 3-12 a)。凸、凹模的厚度为 3~6 毫米(取决于工件厚度)，材料为 45 号钢、T8A、30CrMnSi 甚至硬阳极化后的淬火铝板(取决于工件材料和产量)。凸、凹模底板为 3.5~4 毫米厚的淬火铝板。铆钉采用 90° 埋头淬火铝铆钉。卸料和顶件靠橡皮块。