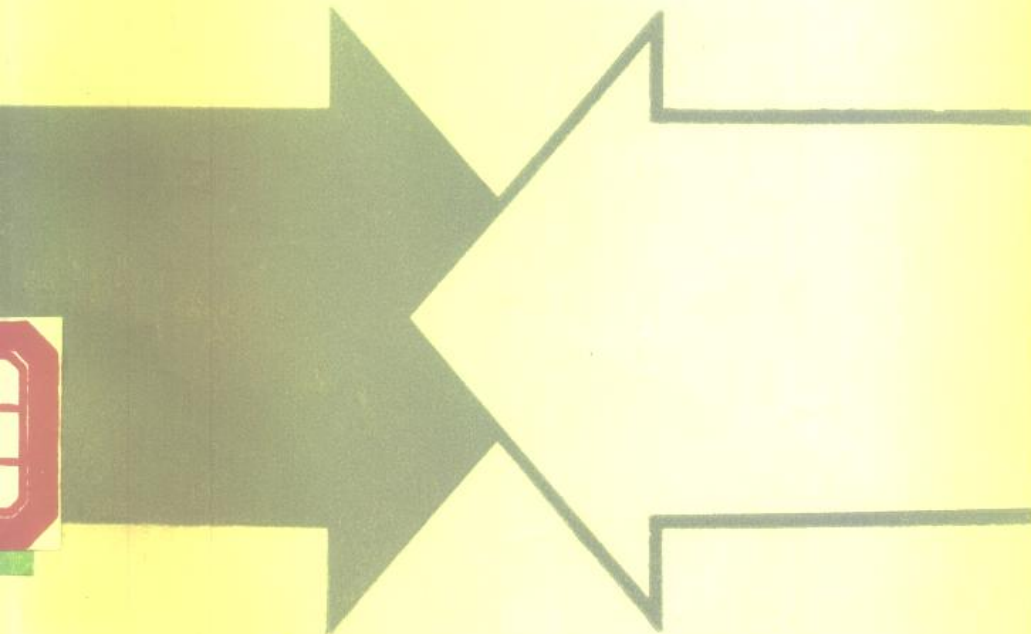


水压机模锻

SHUIYAJI MODUAN

〔苏〕A.Φ.别洛夫 等著

靳辅安 等译 薛永春 校



国防工业出版社

水压机模锻

〔苏〕A.Φ.别洛夫 等著

靳辅安 等译

薛永春 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书介绍了在水压机上模锻轻合金零件的全貌，这类轻合金铸件广泛应用于许多工业领域，尤其在航空工业中的应用占较大的比重。

本书对模锻水压机的试验研究、结构设计、模锻工艺、锻造金属的性能和锻造质量等方面作了系统的论证和分析。

本书共分六章，包括：模锻用的材料和毛坯；大型模锻件的应用及制造；轻合金模锻水压机；水压机载荷的特点；工具装备；水压机上模锻精度。

本书可供从事锻造工作的科研和技术人员、水压机设计人员和高等院校锻压专业的师生参考。

Объемная Штамповка на Гидравлических Прессах

А.Ф.Белов

Б.В.Розанов

В.П.Линц

Издательство «Машиностроение» Москва 1971

水压机模锻

〔苏〕А.Ф.别洛夫 等著

靳辅安 等译

薛永春 校

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

787×1092¹/₃₂ 印张7¹⁵/₁₆ 210千字

1981年1月第一版 1981年1月第一次印刷 印数：0,001—2,500册

统一书号：15034·2114 定价：1.00元

译者的话

本书对重型模锻水压机的试验研究、结构设计、模锻工艺以及锻造金属性能和锻件质量等方面的问题作了论证和分析，有不少可借鉴之处，但也有某些不适之点。出版本书，可供我国从事锻造工作者参考。

参加本书翻译工作的有东北重型机械学院的靳辅安、林秀安、陶永发、杨煜生、顾煜基、黄学玲、李德连等人。

本书经航空材料研究所薛永春校对，并由刘润农作了技术复核。

由于我们的业务水平有限，在翻译上难免有不妥之处，请读者批评指正。

序

近些年来，轻合金零件的生产大大地扩大了。

对于工作时各个部位需具有较高强度和刚度的轻合金零件，提出了越来越高的要求。

采用大型整体模锻件取代铆接组合件，可大大减少接头数量，提高零件的刚度、疲劳强度和可靠性，使重量减少10~15%，金属利用率提高25~30%。同时，还能减少劳动工时，缩短生产周期。

大型模锻件的生产，要求专门的设备，首先是大吨位水压机。为此，进行了大量科学研究和设计试验工作，其中研究了现行锻造工艺、现有水压机的结构、液压传动装置、主要零部件的强度、设备使用特点以及寻找解决新型水压机及其传动装置的合理结构，并终于制造出独具一格的水压机。

今后要求设计人员和工艺人员全面掌握模锻工艺特点及水压机受力的状态，才能制定出合理的加载规范，以保证设备经常可靠地工作，并采取适当措施以便在水压机上生产出精密锻件来。

本书概括介绍了重型模锻水压机的研究、设计和使用以及模锻工艺方面的情况。

作者衷心希望本书所述的资料能在某种程度上促进机械制造、化工、轻工、建筑等工业部门扩大模锻件的使用；能帮助工艺人员和机械人员使用现有水压机以及帮助设计人员设计出新的模锻设备。

目 录

第一章 模锻用材料和毛坯	1
1. 变形轻合金	1
2. 毛坯	6
第二章 大型模锻件的应用及制造	9
1. 大型模锻件的应用	9
2. 大型模锻件的制造特点	18
3. 模锻工艺方案	20
4. 模锻件的毛坯和原始工艺参数的选择	23
第三章 轻合金模锻水压机	31
1. 结构	31
2. 速度参数、传动和操纵	58
3. 检测和控制仪表	75
4. 工作机械化	89
第四章 水压机的载荷, 关键零件的应力和变形	95
1. 水压机载荷的特点	95
2. 立柱结构水压机零件的应力和变形	101
3. 组合结构式水压机零件中的应力和应变	112
第五章 工具装备	129
1. 模具装置	129
2. 锻模和垫板用钢	137
3. 模具装置的制造和使用	143
4. 模具装置在水压机加载时的特性	150
5. 模具装置接触应力的计算	155

6. 模具装置的强度计算	167
第六章 水压机上模锻精度	180
1. 模锻件不精确的原因	180
2. 活动横梁倾斜的控制系统	184
3. 单个模锻件的实际精度	203
4. 锻模模膛的修正	221
附录	239
表 I 铝、镁和钛合金模锻件的机加工余量	239
表 II 铝、镁和钛合金模锻件的垂直尺寸公差 (双面磨损)	240
表 III 铝、镁和钛合金模锻件垂直尺寸公差 (单面磨损)	241
表 IV 铝、镁和钛合金模锻件水平尺寸公差 (双面磨损)	242
表 V 铝、镁和钛合金模锻件水平尺寸公差 (与磨损无关)	243
表 VI 铝、镁和钛合金模锻件锻模在分模面上允许的错移量	244
表 VII 钢、铝、镁和钛合金模锻件模锻斜度公差	244
表 VIII 铝、镁和钛合金模锻件圆角半径尺寸公差	245
表 IX 铝、镁和钛合金模锻件的容许弯曲量	246
参考文献	246

第一章 模锻用材料和毛坯

1. 变形铝合金

水压机模锻的材料多半是铝、镁合金以及钛和钛合金。

铝合金分为变形的和铸造的两种。前者具有良好的切削加工性以及良好的机械性能和物理性能，并可用压力加工方法制成半成品。后者的液态流动性较好，用于制造铸件。

变形铝合金（化学成分按ГОСТ4784-65）可分为热处理不能强化的和热处理能强化的两组，这两组合金在合金化时均可得到强化。此外，第二组合金还可以通过使过饱和固溶体分解的方法得到强化。这种分解是在淬火后进行自然或人工时效，或在淬火后的时效前或时效后进行冷作硬化时实现。在这种情况下，合金的塑性下降，压力加工性变坏。这种强化的影响可用退火的办法消除。

第一组合金只能用冷作硬化的方法进行补充强化，但由于塑性显著下降，强化效果不大。这些合金的热处理只有退火。

根据机械性能的不同，强化合金大致可分为高强度（ $\sigma_b = 40 \sim 67$ 公斤/毫米²）和中强度（ $\sigma_b = 30 \sim 50$ 公斤/毫米²）两种^[14]。

非强化合金可归属于软合金（ $\sigma_b = 8 \sim 30$ 公斤/毫米²）。

表1所列某些变形铝合金的主要机械性能^[20]。

现在分析一下各种铝合金模锻的热力规范主要参数。

表 1 某些变形合金的机械性能

机 械 性 能	合 金															
	软 的 (低强度)						中 强 度①			高 强 度			D-20			
	АД	АМц	АМг2	АМг3	АМг5М	АМг6М	АВ	АК2	АК4	АК6	АК8	В-93①		В-94①	В-95②	В-96③
σ_b (公斤/厘米 ²)	8~15	13~22	19~25	19~24	27	30	12~33	44	39~43	42	48	52	52	56~60	67	44
$\sigma_{0.2}$ (公斤/厘米 ²)	3~10	5~18	8~21	9~10	12	15	12~28	28	32~36	30	38	48	44	53~55	63	30
δ (%)	6~35	5~23	6~23	15~20	18	18	16~30	9	10	13	10	10	15	8	7	15
ψ (%)	60~80	50~70	64	—	—	—	20~65	—	20~25	40	25	25	45	12	—	—

① 淬火与人工时效状态。

② 只有型材呈淬火和人工时效状态。

③ 加热到 300~350°C 时不同合金模锻件的强度极限降至 4~17 公斤/毫米², 屈服极限降至 3.5~14 公斤/毫米²。

软合金压力加工的温度范围是 $260 \sim 510^{\circ}\text{C}$ 。实际上变形速度对这类合金的塑性没有影响。所以它们既可在锤上，也可在水压机上加工。这类合金的容许变形量可达 80%。

中强度合金的压力加工温度范围为 $350 \sim 460^{\circ}\text{C}$ ；高强度合金为 $380 \sim 450^{\circ}\text{C}$ 。这两种合金在水压机上变形比在锤上变形较为合理。当变形量大时，锤击作用会引起合金脆裂。因此，锤锻时，每工步的变形量不得超过 $50 \sim 65\%$ 。

镁合金与其它结构材料相比，具有最小的比重。它们的比强度（强度极限 σ_b 与比重 γ 之比值）在常温下与铝合金相近（ $\frac{\sigma_b}{\gamma} = 15 \sim 18$ ），但在高温下则明显偏高。例如，在 350°C 时镁合金的比强度 $\frac{\sigma_b}{\gamma} = 5.6 \sim 6.1$ ，而铝合金为 $\frac{\sigma_b}{\gamma} \approx 4.0$ 。

模锻用得最多的变形镁合金（其化学成分见文献〔20〕）大致可分为如下三组：

1) 低合金化的镁-锰系合金 (MA1、MA8)。它们可归属于软合金 ($\sigma_b = 17 \sim 25$ 公斤/毫米²， $\sigma_{0.2} = 9 \sim 16$ 公斤/毫米²， $\delta = 2 \sim 12\%$)。

2) 中、高合金化的镁-铝-锌系合金 (MA2、MA2-1、MA3、MA5) 和镁-锰-铝-钙系合金 (MA9)。它们可归属于中强度合金 ($\sigma_b = 24 \sim 30$ 公斤/毫米²， $\sigma_{0.2} = 10 \sim 20$ 公斤/毫米²， $\delta = 3 \sim 13\%$)。

3) 高合金化的镁-锌-锆系合金 (BM65-1、BMД3)。按其机械性能可归属于高强度合金 ($\sigma_b = 26 \sim 32$ 公斤/毫米²， $\sigma_{0.2} = 25$ 公斤/毫米²， $\delta = 6 \sim 8\%$)。在 300°C 时，镁合金的 σ_b 降为 $6.5 \sim 7$ 公斤/毫米²，而 σ_T —— 3.5 公斤/毫米²。

必须指出，低合金化的合金在板材冲压中的应用比模锻更为广泛。

在某些情况下，中、高合金化的镁-铝-锌系合金对变形速度的敏感性要比铝合金更加强烈。锤锻中所产生的大的变形速度，会显著缩小变形的温度范围并限制变形量。例如，BM65-1 合金在低的变形速度下（水压机上变形），300～400℃时的变形量可达到 90%，但在锤击作用下容许的变形量要减小 1/2，而温度范围缩小到 340～410℃。

在水压机上模锻 MA2 合金挤压毛坯时的最佳温度范围为 420～320℃，MA2-1 为 400～300℃。而在锤上模锻时，其温度范围相应地缩小为 430～340℃ 和 400～340℃。在水压机上模锻的温度范围是 390～250℃，而锤上仅为 390～360℃^[20]。

铝、镁合金制件的机械性能随变形程度的增大而提高，同时，各向异性随之减小。铝合金的最高机械性能和最小纵向、横向各向异性要在变形程度大约 75% 时方可达到，而镁合金则为 90～95%（其机械性能最低、各向异性最大的变形程度是 50～75%）。如果把这些变形值与前面引用的铝-镁合金在水压机和锤上的容许变形值加以比较，即可得出这样的结论：要获得强度高的锻件，在水压机上变形比在锤上较好些。

钛及钛合金 近些年来，钛及钛合金模锻件得到了越来越广泛的应用。与其它结构材料相比，钛的主要优点是：比重小（4.5 克/厘米³）；在宽的温度范围内兼有很高的机械性能（例如，当 $t = 20^\circ\text{C}$ 时， σ_b 达到 100 公斤/毫米²）；同时具有良好的耐腐蚀性和很高的热强性。

众所周知，钛的同素异晶转变有两种：具有六方密排晶格的 α -钛（885°C以下）和塑性较好的体心立方晶格 β -钛（885°C以上）。

因此以钛为基体的合金，可分为四组：

1) α -组织的合金（BT1-00、BT1-0、BT1-1、BT5、BT5-1），其特点是在低温下有好的塑性和高的强度，对强化热处理不敏感，以及有高的蠕变强度。但这些合金在 $t = 20^\circ\text{C}$ 时塑性较低。

2) β 化的 α -组织合金（ β 稳定剂达2%），它的优点与第一组合合金一样，具有较高的塑性。属于这组的合金有OT4-0、OT4-1、OT4、BT4、OT4-2、AT3、AT4。

3) β 稳定剂大于2%的双相合金，在退火或淬火后具有良好的塑性，在淬火和时效后有高的强度。属于这组的合金有BT6C、BT6、BT8、BT9-1、BT14、BT16。

4) β -组织合金（BT15）在常温（ $t = 20^\circ\text{C}$ ）时有极好的塑性。因此，可在常温不加热的情况下进行压力加工，而且在热处理时会剧烈地强化。

某些钛合金的常温机械性能见表2^[20]。

表2 几种钛合金的机械性能

合 金	σ_b (公斤/毫米 ²)	$\sigma_{0.2}$ (公斤/毫米 ²)	$\delta_{11.3\sqrt{F}}(\delta_5)(\%)$
OT4	83	71.8	14.3
OT4-1	68	56.8	16.5
BT4	88	81	23.0

下面列出了各种钛合金的模锻温度范围。

合 金	OT4-1	OT4	BT4	BT5	BT5-1
热压力加工温度 (°C)	1050~750	1050~800	1100~850		
合 金	BT6C	BT6	BT3-1	BT8	BT14
热压力加工温度 (°C)	1050~800		1050~850	1100~850	1050~750

到 500°C 时, σ_b 平均降至 45~47 公斤/毫米², 而 $\sigma_{0.2}$ 降至 30~40 公斤/毫米²。当温度从 800~900°C 到 950~1000°C 时, 这些合金的塑性在锤上加工要比在水压机上加工有所下降。因此, 从提高合金的塑性、降低变形抗力和提高生产率的角度来看, 钛合金在水压机上加工较在锤上加工有利。

2. 毛 坯

毛坯的最初形态是铸锭, 但是在重型水压机上模锻用的原材料, 通常是预先经过锻造、轧制或挤压的。原因是: 第一, 毛坯的形状和尺寸能够最大限度地符合模锻件的要求, 而铸锭却不能满足这些要求; 第二, 铸锭金属不具有模锻件质量所需要的性能, 而变形时, 铸锭的粗大晶粒组织被破碎, 金属的致密性由于空隙等缺陷的消除而得到提高。从而显著地提高了毛坯的塑性, 其强度可增高到 1.5~2 倍。

模锻壁板类锻件的毛坯, 主要用厚度在 100 毫米以下的板坯和条坯, 这些毛坯是在生产率很高的多机架连轧机上生产出来的。在轧制过程中, 金属的晶粒被细化, 方向性也趋于一致。金属获得纤维状的宏观组织, 其纵向和横向机械性能呈现明显的各向异性特征。

一般模锻件用的毛坯是铝、镁合金挤压的棒材和条材。

为此，使用乌拉尔重机厂设计的 12000 和 20000 吨重型水压机，可获得长 9 米、横截面积 950 厘米²（厚 50~100 毫米、宽 500~950 毫米）的条材以及长 13 米、横截面积 2000 厘米²（最大直径 500 毫米）的棒材。

重型卧式水压机和挤压筒的结构，在合金变形过程中，挤压垫上的单位压力允许达到 5500 公斤/厘米²。

挤压毛坯与轧制毛坯一样，也具有纤维状宏观组织。但除纵、横向纤维性能的各向异性之外，沿长度和横截面内部的性能也不均匀，如接近棒材轴线和后端部的强度有所增高。挤压毛坯有不连续性的缺陷，这是由于氧化物、铸锭表面脏物和气体被挤入金属所致。

由铝、镁、钛等合金铸锭锻造的毛坯，主要用于制造大型的模锻件。锻造时，如沿着三个互相垂直的方向进行拔长或者墩粗加拔长，可获最佳性能。必须指出，即使挤压毛坯也需经过锻造。这样，就可消除前面所述宏观组织中的缺陷。

自由锻是在 3~5 吨蒸汽、空气锤上或 1000~10000 吨的水压机上进行，在这种设备上可锻制各种简单形状的重达 3 吨的锻件和高 500 毫米、最小壁厚 50 毫米、最大直径 3500 毫米的环形件。

水压机模锻用毛坯的锻造工艺包括下列工序：切断铸锭及切取检验宏观组织用的试片；铸锭扒皮；铣削端部；加热和锻造。

第一道工序在圆盘锯上完成；第二道工序在扒皮机床和车床上进行；第三道工序在专用端面铣床上进行。

准备就绪的铸锭装入（第四道工序）有传送带的双室电炉，炉内配有强制空气循环装置。在这种炉内加热，可以保证沿铸锭长度和横截面的温差最小（不大于 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ ）。应该指出，在装炉前，要检查铸锭的表面和形状尺寸。为了中间加热（在锻造工序中——第五道工序），一般要配备一些带活动炉底的间歇式电炉。

第二章 大型模锻件的应用及制造

1. 大型模锻件的应用

轻合金大型模锻件，首先，在制造飞机的机体、起落架、发动机和螺旋桨等受力构件中，得到了广泛的应用^[40]。

整体模锻件，比以大量小零件组合的构件（铆接、焊接和螺钉连接）和用轧制、自由锻等毛坯铣制的整体零件都为优越。

图1^[40]所示的为铝合金组合的（*a*）和整体模锻的（*б*）大梁。整体模锻的大梁，由于减少了接头、消除了应力集中来源——铆接孔，因而具有较高的强度。这不仅使零件的重量能减轻，且其可靠性也得到提高。

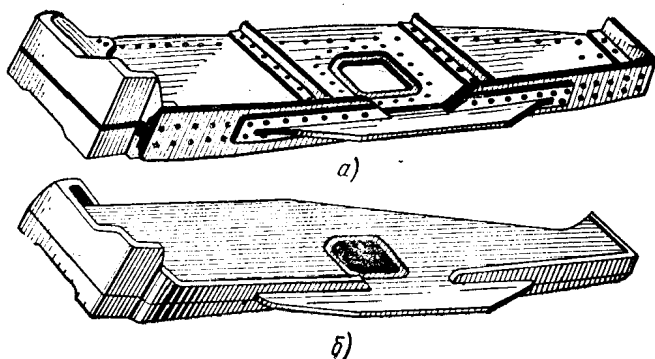


图1 大梁

a) 组合式的（铆接的）；*б*) 整体模锻的。

图 2 所示的运输机中翼框架，是大型铝合金模锻件所制机身受力零件的实例。它是由一些整体模锻件组成的，尺寸达几米。每个锻件都取代了用螺栓连接的组合件。

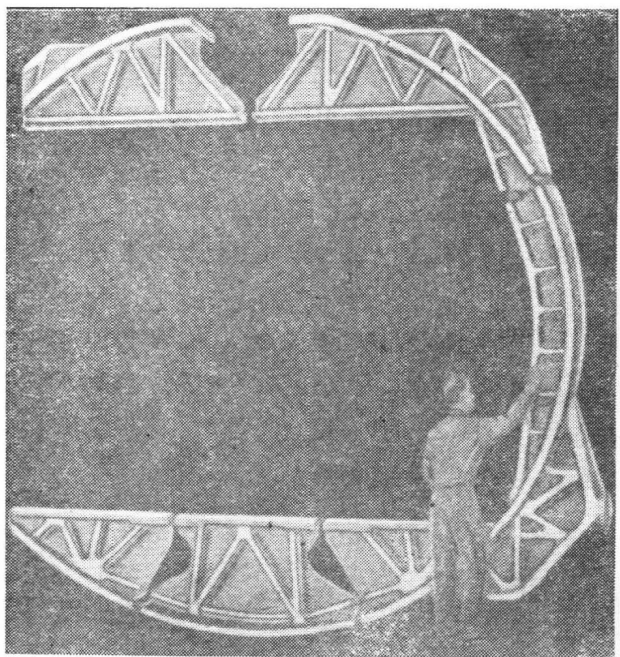


图 2 由整体模锻件组成的现代运输机的中翼框架

壁板类型的模锻件（见图 12）常作机翼构件之用。发动机支承框架（图 3）、杠杆、支臂等类型零件（图 4 a、b）的毛坯都是模锻的。

发动机中有大量零件是在水压机上模锻的，如：铝合金和钛合金圆环、盘形件（图 5 a）、叶轮（图 5 b）以及铝合金螺旋桨叶等等。