

液态金属模锻模具设计



陈炳光

华中理工大学出版社

内 容 简 介

本书着重介绍液态金属模锻模具的设计。内容主要包括：液锻模的设计原理及基础知识；液锻工艺方案选择；模具结构及零部件的设计方法；液锻模的调整、使用与维修等。本书有较齐全的图例和数据资料，是从事液态金属模锻专业研究人员或教学人员的主要参考书和工具书。本书还可供铸造专业、锻造专业及各类机械专业的学生、教师及工程技术人员参考。

液态金属模锻模具设计

陈炳光

责任编辑 叶见欣

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

湖南省新华印刷二厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张：12 字数：268,000

1989年6月第1版 1989年6月第1次印刷

印数：1—1,000

ISBN 7-5609-0276-6/TG·7

定价：2.38元

前 言

液态金属模锻是合金液在较高的压力作用下，充型、凝固并产生一定的塑性变形，从而获得优质产品(液锻件)的一种工艺方法。它具有显著的经济效益和社会效益。为了使该项工艺能得到迅速推广，本书综合了作者多年来从事液锻研究及液锻模设计的经验，吸取了国内、外液锻工艺的研究成果，力求结合生产实际，介绍液锻模的设计方法和各种技术问题。希望本书能对从事液锻工艺技术开发工作的科研、教学人员及工程技术人员有所帮助。

本书在编写过程中得到了孙寿楠副教授及罗继相、刘林海、丁孔实、伍齐亮等同志的帮助，借鉴了一些学者、专家发表过的宝贵资料。在此，作者谨致热忱的谢意。

由于作者水平有限，实践经验不足，加之成稿时间仓促，书中难免有不少缺点及不足之处，恳望读者批评指正。

陈炳光

1986.7.

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 液态金属模锻的实质及基本方式	(1)
第二节 液锻的特点及应用	(6)
第二章 液锻工艺基础	(10)
第一节 液锻过程	(10)
第二节 液锻过程中压力的作用	(16)
第三节 影响液锻件质量的主要工艺参数	(21)
第三章 液锻模设计的基本资料	(28)
第一节 液锻件的机械性能	(28)
第二节 液锻件的结构工艺性	(32)
第三节 液锻工艺的经济性分析	(37)
第四节 液锻方式的选择	(43)
第五节 液锻件图设计	(47)
第六节 模具设计有关参数及其计算	(68)
第七节 液锻机的选择	(82)
第四章 液锻模结构设计	(91)
第一节 液锻模设计步骤	(91)
第二节 液锻模的种类	(93)
第三节 液锻模的连接机构	(94)
第四节 卸料机构	(98)
第五节 拔芯机构	(101)
第六节 开合模机构	(106)
第七节 排气槽及溢流槽	(114)
第八节 静压液锻模结构设计	(119)
第九节 挤压液锻模结构设计	(133)
第十节 间接液锻模结构设计	(141)

第五章 模具的预热和冷却	(159)
第一节 模具的预热	(159)
第二节 模具的冷却	(164)
第六章 液锻模零件设计	(173)
第一节 凹模	(174)
第二节 凸模	(186)
第三节 压头、压套及分流锥	(196)
第四节 型芯与镶块	(222)
第五节 导柱、导套和导正销	(226)
第六节 模板、模座和模柄	(233)
第七节 卸料(顶出)零件	(265)
第八节 固定板和模套	(283)
第九节 开合模(拔芯)零件	(290)
第十节 模具安装用压板及常用标准件	(309)
第七章 液锻模的材料及技术要求	(311)
第一节 工作零件材料的选用及热处理	(311)
第二节 液锻模其它零件材料的选用及热处理要求	(326)
第三节 液锻模零件的公差、配合及表面粗糙度	(328)
第四节 液锻模的技术要求	(343)
第八章 液锻模用涂料	(345)
第一节 涂料的作用及要求	(345)
第二节 常用的液锻模涂料	(346)
第三节 涂料的喷涂工艺	(349)
第九章 液锻模的使用与维修	(351)
第一节 液锻模的安装与调试	(351)
第二节 液锻模使用规程及液锻安全技术	(368)
第三节 液锻模的损坏形式及改进措施	(371)
第四节 液锻模的修复	(375)
参考文献	(376)

第一章 绪 论

第一节 液态金属模锻的实质及基本方式

液态金属模锻(简称“液锻”)是一种铸、锻结合的少切屑或无切屑工艺。这种工艺方法是合金液在较高的压力作用下充型、凝固并产生少量塑性变形,从而获得轮廓清晰、表面光洁、尺寸精确、组织紧密、晶粒细小、机械性能优良的产品的方法。

液锻生产的主要工艺流程如图1-1所示。

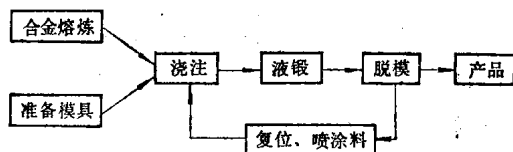
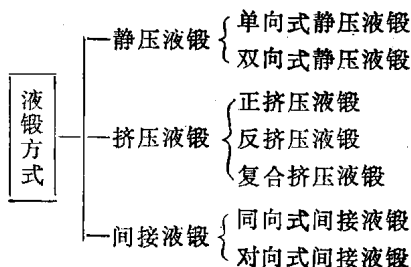


图1-1

根据液锻时合金液的流动状况及液锻力的形式,液锻的基本方式有如下几种。



一、静压液锻

静压液锻方式的原理如图1-2所示。在静压液锻过程中,合金液不产生大量的流动,液锻件的形状主要靠浇注时的充型来获得。压力的作用可以加速(影响)合金液的凝固过程和使合金产生塑性变形。液锻件在高度方向有明显的下压(塑性变形)痕迹。

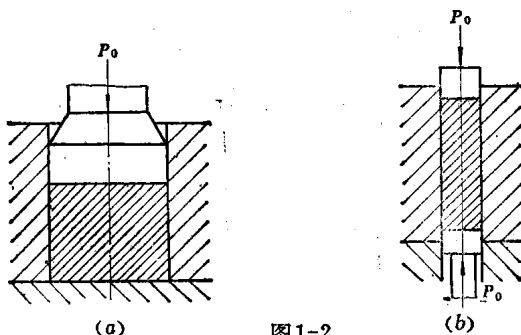


图1-2
(a)—单向式静压液锻; (b)—双向式静压液锻

对于相对高度不大(高度与宽度之比小于或等于5)的液锻件,通常只需在一个方向施加液锻力〔图1-2(a)〕,这种液锻方式叫单向式静压液锻。

对于相对高度较大的液锻件,为了保证产品质量,可以采用沿液锻件轴线方向的两端相对同时加压〔图1-2(b)〕,这种液锻方式称为双向式静压液锻。

静压液锻方式主要用来生产形状简单,但机械性能要求较高的产品,如各种棒料、蜗轮、齿轮、阀体以及壁厚大于6mm的轴套或杯状件。

二、挤压液锻

挤压液锻如图1-3所示,在液锻时,浇入液锻模内的合金

液，在凸模(压头)的压力作用下，迅速流动而充型，接着在较高的压力下凝固并产生少量塑性变形。

根据液锻力 P_0 的作用方向与合金液流动方向的同否，挤压液锻又可分为：

1. 反挤压液锻——液锻力 P_0 的作用方向与合金液的流动方

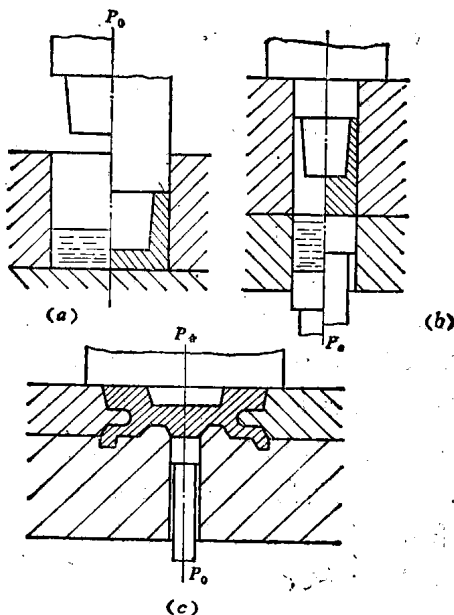


图1-3

(a)——反挤压液锻；(b)——正挤压液锻；(c)——复合挤压液锻， $P_{\text{合}}$ 为合模力

向相反，即在液锻力的作用下，合金液沿与作用力相反的方向流动的液锻，如图1-3(a)所示。

2. 正挤压液锻——合金液的流动方向与液锻力 P_0 的作用方向相同的液锻，如图1-3(b)所示。

3. 复合挤压液锻——在液锻力 P_0 的作用下，合金液的流动方向较复杂(其中部分合金液沿 P_0 的作用方向流动，部分合金液

可能沿与 P_0 垂直的方向流动,也可能还有部分合金液沿 P_0 作用方向相反的方向流动)的一种液锻,如图1-3(c)所示。图1-4所示的液锻方式,也属于复合挤压液锻。

挤压液锻方式的特点是在压力下充型的合金液,其流动性

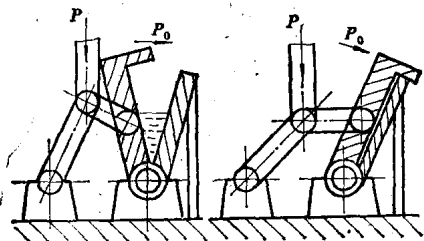


图1-4

好,较易形成轮廓清晰,表面光洁的产品;合金液在流动充型过程中,往往伴随着发生结晶过程,初生的树枝晶粒在流动过程中破碎,形成大量的晶核,合金液不经变质处理,也可获得细晶组织;最后,合金液是在较高的压力下完全凝固,并有少量塑性变形,所以产品组织紧密,机械性能较高。

壁厚均匀的壳体类产品,常采用反挤压液锻;壁厚差别大的产品,主要采用正挤压液锻方式;形状复杂的产品,则应用复合挤压液锻方式最为适宜。

三、间接液锻

合金液在压力作用下,通过内浇道压入型腔,充型、凝固而获得所需产品的液锻方式,叫间接液锻。其过程与立式压铸十分相似。不同点在于间接液锻浇道短,浇道截面大,充型速度低,保压时间长,能生产壁厚较大、形状较复杂的产品。

根据合模力 $P_{合}$ 和液锻力 P_0 作用的方向同异,间接液锻方式分为同向式间接液锻和对向式间接液锻两种不同方式。

图1-5所示的是同向式间接液锻的原理图。液锻件的型腔由上、下模块合模后构成。液锻时，合金液浇入压室中， $P_{\text{合}}$ 使上模块压紧下模块后，液锻力 P_0 使压头对合金液加压，并将合金液从内浇道压入型腔，在较高的压力下充型、凝固而获得所需的产品。由于合模力 $P_{\text{合}}$ 与液锻力 P_0 的方向相同，故称同向式间接液锻。应当指出， $P_{\text{合}}$ 与 P_0 的方向虽然相同，但其作用有不同的次序和时间，所以，同向式间接液锻，一般应采用专用双动液锻机来实现。否则，其模具结构就要相当复杂，液锻才能进行。

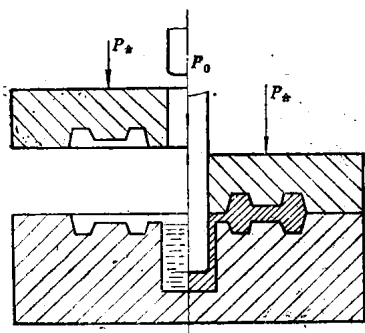


图1-5

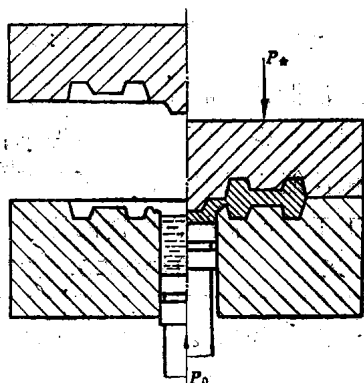


图1-6

如果 $P_{\text{合}}$ 与 P_0 方向相反，就叫对向式间接液锻。图1-6所示的是对向式间接液锻的原理图。液锻时，合金液浇入压室中，合模力 $P_{\text{合}}$ 使上、下模块合模。液锻力 P_0 推动压头将合金液从内浇道压入型腔。合金液在较高的压力作用下充型、凝固。由于 $P_{\text{合}}$ 和 P_0 是分别由液压机的加压缸和顶出缸产生的，所以，对向式间接液锻可在普通压力机上进行。

间接液锻的特点是浇口截面大，浇道短，充型速度较压铸低，充型过程中一般不会产生卷气现象；压力大，保压作用时间长；对合金液定量要求不严，但有余料损失；可一模多件，生产率

较高。间接液锻主要用来生产壁厚均匀而形状复杂的液锻件。

第二节 液锻的特点及应用

上节已经指出，液锻工艺是合金液在较高的压力作用下充型、凝固并产生少量塑性变形的一种工艺方法。国内外的研究及生产实践业已证明，液锻工艺具有优质，高效，节能，低消耗，适应性广等一系列优点。

一、液锻产品质量优良

液锻件一般无铸件中常见的气孔、缩孔、缩松等缺陷；内部组织紧密、均匀、晶粒细小；能用热处理方法进一步提高其机械性能，其机械性能可与锻件相媲美，可靠性高。它与其它加工工艺产品的机械性能比较见表1-1。

表1-1 几种加工工艺生产的产品机械性能比较

合 金	生产工艺	热处理	σ_s (MPa)	δ (%)	备 注
ZL109	金属型铸造	淬火 + 时效	≥ 250	—	GB1173—74标准
	锻 造		310~330	1.3~3.8	$\phi 150$ 活塞解剖性能
	液 锻		300~360	0.5~2.4	$\phi 150$ 活塞解剖性能
LD7	锻 造	淬火 + 时效	≥ 380	≥ 5	YB616—66标准
	液 锻		344~378	7.7~9.9	$\phi 150$ 活塞解剖性能
LD8	锻 造	淬火 + 时效	≥ 360	≥ 4	YB616—66标准
	液 锻		408	14.1	$\phi 150$ 活塞解剖性能

产品轮廓清晰，表面粗糙度低($\frac{0.3}{\sqrt{}} \sim \frac{0.6}{\sqrt{}}$)、寸精确(IT10~

IT13), 能生产出一般模锻方法无法生产的形状复杂的零件, 甚至螺纹也能液锻出来而不需加工。

二、生产率高

液锻工艺生产过程简单, 操作容易, 便于组织机械化、自动化生产。生产周期短, 一套设备班产约100~400件。

例如, 81mm迫击炮弹弹体的生产, 美国布林顿厂原来采用一台2000t压力机热冲, 两台800t压力机进行两次挤压, 连同下料、加热、酸洗、磷化等共12道工序; 河岸弹药厂原工艺采用一台2500t压力机镦锻、挤压, 一台1600t压力机进行热精压, 连同下料、加热、喷丸处理、酸洗、磷化等共14道工序。改用液锻工艺后, 只需一台150t油压机, 经4道工序便可完成。三台150t油压机, 每月能生产约十万件炮弹弹体。

此外, 液锻工艺生产的成品率高达90%以上, 所以生产率也相应提高。

三、材料消耗少, 节能显著

液锻件一般无浇注系统的金属消耗, 可节省10%以上的合金液。生产相同数目、品种的产品时, 可大大减少熔炼时间及其所消耗的能源。

液锻产品表面光洁, 尺寸精确, 机械加工余量很少, 能较大地节省机械加工工时、电力及机床设备投资。

表1-2所示的是某厂采用不同工艺方法生产475C₂风扇皮带轮的经济技术指标的对比。

表1-2中的各项指标按下述原则计算。

1. 坯料重量包括浇注系统在内, 即每件坯料所需的合金液重量。

表1-2

几种工艺经济技术指标的对比

项目 工艺	坯料重量 (kg/件)	金属消耗 (%)	铸造时间 (min/件)	机加工时间 (min/件)	硬度 (HB)	成本 (元/件)
砂 型	2.11	427.5	35	62	61.8	6.88
金 属 型	1.30	225	17	57	73	3.79
液 锻	0.425	6.25	2	18	90	1.68

2. 金属消耗按下列公式计算:

$$\text{金属消耗} = \frac{\text{坯料重量} - \text{成品重量}}{\text{成品重量}} \times 100\%$$

475C₂ 风扇皮带轮成品重为0.40kg。

3. 铸造时间均不包括金属液熔炼时间。砂型铸造时间包括造型、浇注、清砂等所需时间;金属型铸造时间包括模具安装、调整、浇注、脱模和切除浇注系统所需时间;液锻时间包括模具安装调整、浇注、液锻、脱模、喷涂料等所需的时间。

4. 成本核算对于金属型及液锻,均已包括寿命为1万件的模具费用在内。

液锻产品性能高,重量轻,用于船舶、车辆及飞行器上有明显的节能效益。

液锻过程中,金属是液态充型,塑性变形量少,塑性变形温度高,因此,对于同样品种的产品,所需的液锻力仅为热模锻的1/5~1/8。

液锻模结构简单,制造容易,模具费用约为压铸模的2/3~3/4。

一次性投资小,可采用通用液压机进行液锻生产,其投资费用比具有相同能力的压铸设备的少1/6~1/4。

四、工艺适应性广

液锻工艺对合金材料的工艺性能没有严格的要求，无论是铸造合金还是锻造合金均可进行液锻。因此，产品更能适合使用的需要。

此外，产品的壁厚对液锻工艺没有多大影响。尤其是对于壁厚悬殊的复杂件，液锻是最好的工艺方法。

目前，液锻设备一般都采用通用的液压机。液锻任务完成后，该设备还可作冲压、挤压、模锻、塑料制品及粉末冶金等多项工作。

尽管液锻工艺在模具材料、机理研究及专用设备等方面，当前还存在着不少问题，但它已在机电、汽车、船舶、五金工具、轻工、化工机械等行业中得到了相当广泛的应用。

第二章 液锻工艺基础

第一节 液锻过程

液锻过程，实质上是合金液在高压作用下充型、凝固及塑性变形的综合过程。液锻方式不同，压力的作用是不尽相同的。因此，不同的液锻方式，其充型、凝固及塑性变形的综合过程也就不一样。下面就几种基本方式的液锻过程进行分析。

一、静压液锻过程

经过实验观察和综合的分析研究表明，静压液锻过程可分为如图2-1所示的四个阶段。

第一阶段——结壳阶段〔图2-1(a)〕。

液态合金浇入液锻模后，其液面不是平的。它可能是凸起或凹入的。在 P_0' 的作用下，凸模与合金液面接触，将凸起（或凹入）的液面压平。合金液在低温模壁的强烈散热（或吸热）的作用下，沿着模壁迅速结晶（凝固），形成一层外壳。随着时间的延长，外壳层不断加厚，固—液相间的温差不断减小，结壳过程的速度显著变慢。由于壳层是在较大的温差下迅速结晶而形成的，且壳层较薄，尚未形成柱状晶结构，故其组织紧密，晶粒细小，机械性能较高。

在结壳阶段中 $P_0' < P_0$ （液锻力）。 P_0' 仅起压平液面的作用。所以由 P_0' 产生的合金液中的压强（比压力） p' 可认作为

零，即

$$p' \approx 0$$

压平后的液面高度为 H_0 。 H_0 的大小可由下式求出，

$$H_0 = \frac{V_{\text{液}}}{A_0} \quad [2-1]$$

式中， H_0 ——压平后的液面高度，mm； $V_{\text{液}}$ ——所需合金液的体积， mm^3 ； A_0 ——与 P_0 垂直的受压面投影面积， mm^2 。

第二阶段——在压力作用下的结晶阶段〔图2-1(b)〕。

凸模与合金液面接触并使液面压平后，液锻力从 P_0' 增大到 P_0 ，于是，型腔内的合金液便处于压强（比压力） p 的作用下。这时，合金液与模壁的紧密接触，使散热作用增强，加快了结晶进程，此外， p 使结晶过程中形成的微小空隙得到充分的合金液补充。对大多数合金来说， p 还起着加速结晶过程的作用。所以，在压力下的结晶阶段，获得的也是紧密的细晶组织。

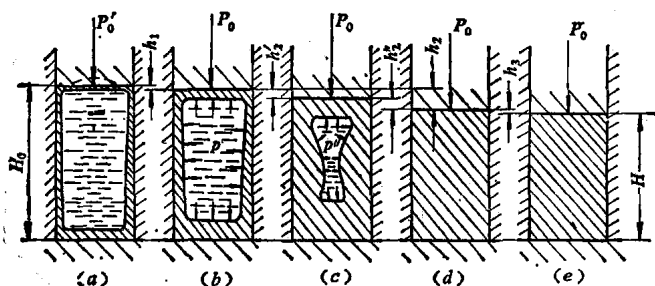


图2-1

(a)——结壳阶段；(b)——压力下结晶阶段；(c)、(d)——压力下结晶——塑性变形阶段；(e)——塑性变形阶段

随着时间的延长，温度不断下降，由于合金液的液态收缩和凝固收缩，液面下降，在 P_0 的作用下，凸模要下移一段距离 h_1 。

在这阶段中，比压力

$$p = \frac{P_0}{A_0} \quad [2-2]$$

式中， p ——比压力，MPa； P_0 ——液锻力，N。

对于凝固时体积收缩的合金，在压力下其结晶的时间很短，所以凸模下降的距离 h_1 很小，实际上可以忽略不计。

对于凝固时体积膨胀的合金，其结晶过程在压力下一直进行到全部金属液都凝固为止。凸模的下降距离 h_1 决定于金属液态收缩及凝固膨胀的综合结果。

第三阶段——压力下结晶—塑性变形阶段〔图 2-1 (c)、(d)〕。

凝固时体积膨胀的合金，在液锻过程中无此阶段。凝固时体积收缩的合金，第三阶段时间最长，一直到合金液全部凝固时才结束。

在第三阶段，在压力下结晶的结果是壳层增厚，液面下降。这时在液锻力 P_0 的作用下，壳层被锻粗（塑性变形），凸模下降，又与合金液重新接触。因合金液是不可压缩的，于是，重新形成压强 p'' ，再次出现在压力下的结晶过程。所以，第三阶段就是壳层塑性变形与在压力下金属液结晶反复交替进行的过程，直至合金液全部凝固为止。凸模的下降距离为 h_2 ，

$$h_1 + h_2 = \frac{V_{\text{收}}}{A_0} = \frac{\varepsilon V_{\text{液}}}{A_0} \quad [2-3]$$

式中， $h_1 + h_2$ ——第三阶段结束后凸模的下降高度，mm； $V_{\text{收}}$ ——合金液收缩的体积， mm^3 ； ε ——合金液的体收缩率。

当金属塑性变形时凸模下降，在凸模、液锻件与模壁之间产生的摩擦都要消耗一定的功。当液锻力 P_0 恒定时， P_0 在合金液中产生的比压力 p ，会随着液锻过程的进行，不断变小。这时，