

连铸连锻技术

陈炳光 陈 昆 编著



连铸连锻技术

陈炳光 陈昆 编著



机械工业出版社

连铸连锻技术是指在同一套模具内,先进行铸造,然后立即进行锻造的铸-锻联合先进工艺。本书系统全面地介绍了连铸连锻技术,内容包括连铸连锻技术的原理、工艺分析及工艺参数设计、模具设计、连铸连锻设备、连铸连锻生产技术等方面。该书有大量的图例和表格,内容丰富,应用性强,是一本极有实用价值的连铸连锻技术应用和模具设计的参考书。

本书可供铸造、锻造、模具设计等方面的工程技术人员参考,也可供相关专业在校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

连铸连锻技术/陈炳光,陈昆编著. —北京:机械工业出版社,2004.4
ISBN 7-111-14116-4

I. 连... II. ①陈...②陈... III. ①连续铸造②锻造 IV. ①
TG249.7②TG31

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第017365号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:陈保华

责任编辑:陈保华 版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:李妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年4月第1版·第1次印刷

1000mm×1400mm B5·7.625印张·293千字

0 001—4 000册

定价:24.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

连铸连锻技术是指在同一套模具内，先进行铸造，然后立即进行锻造的铸-锻联合先进工艺。这种工艺是在连铸连轧技术和铸-锻联合工艺的启示下创新的一种先进生产工艺，兼有铸造和锻造的特点。在航天、汽车、轻工、信息产业及五金零件的行业中，应用该工艺，可以生产出形状复杂、力学性能高的各种零件。

连铸连锻技术（下面简称连锻）与铸-锻联合工艺的区别在于，铸-锻联合工艺是先进行铸造，然后将清理好的铸造毛坯重新加热，在锻模中进行模锻，即铸造和模锻是在不同的模具内分别进行的。而连锻则是在同一模具内先进行铸造，待其凝固后，就在同一模具内立即进行锻造。所以，连锻与铸-锻联合工艺比较，具有生产率高、节省能源、生产成本低等优点。

由于连锻具有显著的经济效益和社会效益，为了使连锻工艺能得到迅速推广应用，作者总结了近年来从事连锻工艺研究及生产的经验，力求结合生产实际，汇集成册。希望本书能对在航天、汽车、轻工、信息及五金工具等行业中的工程技术人员，有关专业的师生有所帮助。

本书的第4章、第5章编写及全书的部分电脑绘图、校对等由陈昆完成，其余部分及全书的审核由陈炳光执笔和负责。本书借鉴了一些专家、学者及某些手册的宝贵资料，在此，作者谨致衷心的感谢。

由于作者水平有限，连锻的研究和实践的时间尚短，书中难免有不少缺点和不足之处，恳请读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 连锻工艺基础	1
1.1 连锻工艺简介	1
1.2 连锻生产中的合金液充型过程分析	3
1.3 连锻生产中的锻造过程分析	5
第 2 章 连锻技术分析及工艺参数	7
2.1 连锻件的结构工艺性分析	7
2.1.1 连锻件的形状	7
2.1.2 连锻件的精度	9
2.1.3 连锻件的表面粗糙度	9
2.2 连锻的技术经济性分析	10
2.2.1 连锻件成本分析	10
2.2.2 降低成本的措施	11
2.2.3 技术经济分析	12
2.3 连锻方式	13
2.4 连锻的铸造工艺参数	14
2.4.1 浇道的结构及位置	14
2.4.2 排气槽及集渣包	20
2.4.3 充型速度	23
2.4.4 浇注温度	23
2.4.5 合金液的定量控制	24
2.4.6 模具温度	24
2.5 连锻的锻造工艺参数	25
2.5.1 锻造力	25
2.5.2 锻造时间	26
2.5.3 锻造量	26
2.6 连锻模用的涂料	28
2.6.1 涂料的作用及要求	28
2.6.2 常用的连锻模涂料	29
2.6.3 涂料的喷涂工艺	30
2.7 连锻模的预热与冷却	31

2.7.1 连锻模的预热	31
2.7.2 连锻模的冷却	34
2.7.3 连锻模预热、冷却装置的代码	39
第3章 连锻模设计	41
3.1 连锻模设计步骤	41
3.1.1 对连锻模的基本要求	41
3.1.2 连锻模设计的步骤	41
3.2 连锻件图设计	42
3.2.1 连锻件位置	43
3.2.2 分型面	44
3.2.3 余量和公差的选择	46
3.2.4 脱模斜度	48
3.2.5 圆角半径	49
3.2.6 连锻件的结构分析	50
3.2.7 连锻件的孔	50
3.2.8 连锻件的表面粗糙度	51
3.2.9 连锻件的收缩率	52
3.2.10 连锻件图的绘制	52
3.3 连锻模的种类及机构	57
3.3.1 连锻模的种类及代码	57
3.3.2 连锻模的基本机构	58
3.4 连锻模的工作零件设计	65
3.4.1 凹模的设计	65
3.4.2 凸模的设计	74
3.4.3 型芯与镶块的设计	81
3.4.4 压头、压套及分流锥的设计	84
3.4.5 输液管的设计	91
3.5 连锻模其他零件的设计	92
3.5.1 导柱、导套和导正销的设计	92
3.5.2 模板和模柄的设计	95
3.5.3 卸料（打料）零件的设计	107
3.5.4 开、合模（拔芯）零件的设计	116
3.5.5 预合模垫的设计	129
3.5.6 连锻模用弹簧的设计	129
3.5.7 模具安装用压板及常用标准件	139
3.6 连锻模代码总汇及实例	141
3.6.1 连锻模代码总汇	141
3.6.2 连锻模代码应用实例	143

3.7 连锻模零件的公差、配合及表面粗糙度	144
3.7.1 连锻模零件的公差与配合	144
3.7.2 连锻模零件的形状和位置公差	145
3.7.3 连锻模零件的孔间距偏差	148
3.7.4 连锻模零件的表面粗糙度	151
3.8 连锻模的材料及技术要求	153
3.8.1 工作零件材料的选用及热处理	153
3.8.2 连锻模其他零件材料的选用及热处理	161
3.8.3 连锻模的技术要求	161
第4章 连锻设备	163
4.1 熔炼炉	163
4.1.1 连锻工艺对熔炼炉的要求	163
4.1.2 连锻生产中用的熔炼炉	163
4.2 普通液压机的改造	168
4.2.1 用作连锻生产的普通液压机的基本要求	168
4.2.2 国产通用液压机的型号及主要技术参数	168
4.2.3 普通液压机改造要点	169
4.3 压铸机改造的卧式连锻机	170
4.3.1 用作连锻生产的压铸机的基本要求	170
4.3.2 国产卧式压铸机基本参数	170
4.3.3 压铸机改造要点	171
4.4 专用连锻机	172
4.4.1 对专用连锻机的要求	172
4.4.2 专用连锻机简介	172
第5章 连锻用合金、合金熔炼及镁合金连锻件的处理	174
5.1 连锻有色合金及其铸造特性	174
5.1.1 连锻生产中常用的有色合金	174
5.1.2 有色合金的铸造特性	174
5.2 铝合金及其熔炼	177
5.2.1 常用连锻铝合金	177
5.2.2 铝合金的熔炼技术	177
5.3 铜合金及其熔炼	188
5.3.1 常用的连锻铜合金	188
5.3.2 铜合金的熔炼技术	193
5.4 镁合金及其熔炼	200
5.4.1 常用连锻镁合金	200
5.4.2 镁合金的熔炼技术	204

5.5 镁合金连锻件的处理	213
5.5.1 镁合金连锻件的热处理	213
5.5.2 镁合金连锻件的表面处理	216
第 6 章 连锻生产中的技术问题	221
6.1 连锻模的安装与调试	221
6.1.1 连锻模的安装	221
6.1.2 连锻模的调试	221
6.1.3 连锻生产中常见技术问题及其解决办法	221
6.2 连锻生产操作规程及连锻安全技术	229
6.2.1 连锻生产操作规程	229
6.2.2 连锻生产安全技术	230
6.3 连锻模的损坏形式及改进措施	231
6.3.1 凹模的损坏形式、原因及其改进措施	231
6.3.2 凸模的损坏形式、原因及其改进措施	232
6.3.3 其他连锻模零件的损坏形式	233
6.4 连锻模的修复	233
参考文献	234

第 1 章 连锻工艺基础

1.1 连锻工艺简介

为了得到一定形状、尺寸和力学性能的金属零件，通常可采用铸、锻、焊、热处理和各种机械加工等常用工艺。对于形状复杂而力学性能要求不高的零件，可采用一般的铸造方法。对于性能要求高，但形状不很复杂的零件，就要采用锻造后进行机械加工。对于性能要求高，而形状又很复杂的零件，在锻造后就要进行大量而又复杂的机械加工。这样一来，既消耗大量宝贵的金属材料，又耗费大量的能源和加工工时。随着大规模生产的发展以及产品形状越来越复杂，而且力学性能的要求越来越高，于是出现了诸如低压铸造、压力铸造、模锻、液态金属模锻、粉末冶金、铸-锻联合、挤压等新工艺。上述的各种新工艺，在不同要求的各种金属零件的生产中，已经得到了广泛地应用。其中，铸-锻联合工艺，对于生产高性能而形状复杂的零件，正显示出无比的生命力。

目前生产中采用的铸-锻联合工艺，是用铸造方法先铸出毛坯。清理后，将铸坯重新加热，放入锻模中进行模锻。其生产流程如下：

- (1) 金属熔炼→浇注→凝固→脱模→清理→铸坯；
- (2) 铸坯加热→模锻→脱模→切边→热处理→成品。

这种工艺的优点是可以生产出品质十分优良而形状复杂的产品。国内外已有采用铸-锻联合工艺生产曲轴、前桥、后桥、转向节等汽车零件。缺点是生产周期长，设备及模具多；需重新加热和切边，因而消耗较多的能源；故投入较大，生产成本较高。

在铝车轮生产中，出现了一种新的铸-锻联合工艺。它先用低压铸造或液锻方法生产出带局部轮缘的轮辐件。然后用滚锻方法，在滚锻模中将铝车轮的局部轮缘滚锻出整体铝轮轮缘。滚锻出来的铝轮轮缘，不需要机械加工。用这种方法生产出来的铝轮，其轮缘壁厚只有 2~3 mm，动平衡性能优越，其力学性能是目前其他方法生产的铝轮无法相比的。这种方法的主要问题，除了生产周期长，设备及模具多外，其工艺控制较严，尤其是设备及模具投资十分昂贵。显然，这种工艺方法仅适合于大批量生产旋转体零件。

能否在铸造后在同一模内立即进行锻呢？新型的铸-锻联合工艺（铸-锻一体化，即连铸连锻）就是基于连铸连轧工艺方案的基础上创新的。其基本过程是用低压铸造（或压力铸造）方法，将合金液浇入锻模内成形，待其凝固后，

在同一模内立即进行锻造。其生产流程如下：

金属熔炼→铸造→模锻→脱模→余热热处理→成品

该工艺与液态金属模锻有些相似，其不同点在于，液态金属模锻是金属液在较高的压力下充型、凝固，加压过程是连续进行的，锻造过程不很明显，因而在美国一直称这种工艺为挤压铸造（实际上液锻是连锻的另一种形式，其技术本书不再重复）。而连锻则是先进行金属液充型（其充型压力可以是低压，也可以是高压），待凝固后，进行封闭模内锻造。其锻造过程十分明显。产品的力学性能属于锻造的力学性能。

连锻的模具较复杂，工艺参数控制较严，但其设备（可采用有 PLC 控制的并稍加改造的普通液压机及附加铸造装置；当然，若有专用的连锻设备更好）投入少，生产率高，无需重新加热和切飞边，因而连锻工艺生产成本低，是生产形状复杂而力学性能要求又高的金属零件的好方法。

图 1-1 是采用低压铸造充型的连锻工艺原理图。这种方式，合金液充型平稳；定量准确；操作方便；可实现全自动化生产。

图 1-2 是采用压铸方式充型的连锻工艺原理图。这种方式，除充型方法不同外，它的锻造过程和方法与图 1-1 是一样的。但要注意，在连锻生产中采用压铸方式充型时，它与一般压铸工艺不同。因为连锻生产的充型速度要慢得多，目的是使合金液充型平稳，并能使型腔内的空气在合金液的推动下，从模具中的排气隙充分排出。采用这样的连锻方式，不需低压铸造炉，投资少，工艺过程的控制简单。其合金液浇注，可采用机械手定量浇注，也可采用人工定量勺浇注。

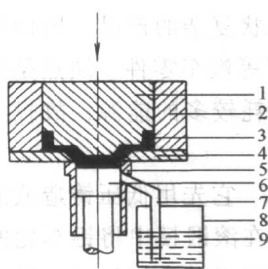


图 1-1 低压铸造方式充型的连锻原理图

1—上压头 2—凹模 3—连锻件 4—模板
5—压套 6—下压头 7—输液管
8—低压铸造炉 9—合金液

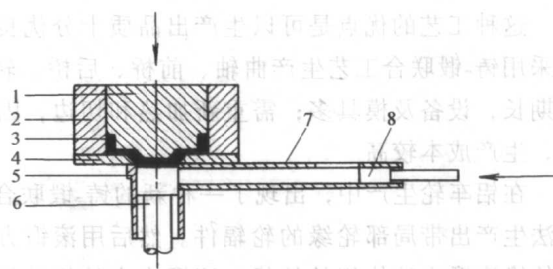


图 1-2 压铸充型方式的连锻工艺原理图

1—上压头 2—凹模 3—连锻件 4—模板
5—压套 6—下压头 7—输液管 8—充型压头

图 1-3 是实际生产中所采用的连铸连锻的工作过程。其过程如下：

合模、浇注→充型、凝固→锻造→开模、取件

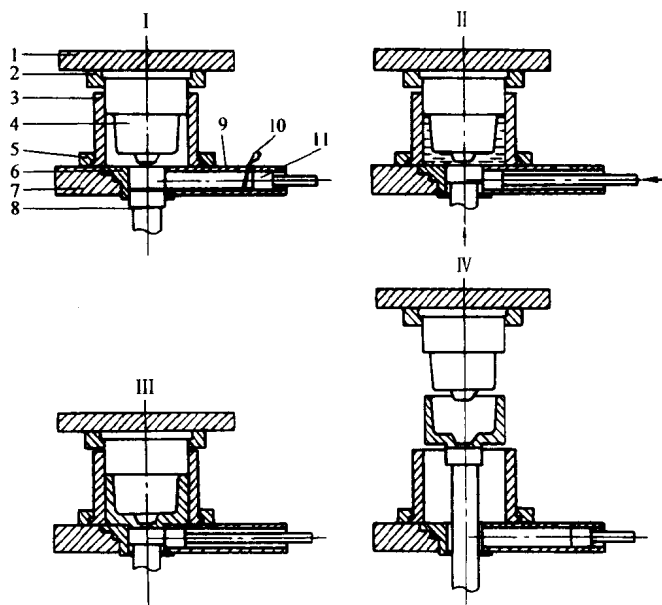


图 1-3 连锻过程图

I—合模、浇注 II—充型、凝固 III—锻造 IV—开模、顶件

1—上模板 2—上模压板 3—下模 4—上模 5—下模压板 6—料筒

7—下模板 8—下压头 9—输液管 10—定量勺 11—输液管压头

从以上所述可以看出，连锻的工作过程是比较简单的。它在铸造、充型、凝固后，便在同一模内进行锻造。由于经过封闭模内锻造，其产品性能十分优良。因此用连锻工艺可生产出形状复杂而力学性能要求高的零件。

由于模具材料及合金液防氧化等方面的技术，对高温的黑色金属连锻的适应较难解决，连锻技术目前还是以有色金属零件为主。故本书下面论述，也主要介绍与有色金属零件有关的连锻技术问题。

1.2 连锻生产中的合金液充型过程分析

连锻生产中第一步是铸造，亦即浇注、充型和凝固。浇注可采用手工定量勺浇注，也可采用机械手定量浇注。凝固是合金液充型后，在模内冷却。技术关键是合金液的充型是否顺利进行。连锻生产中合金液的充型过程，大体上与压铸或低压铸造相似。由于在铸造、凝固完成后，就立即进行锻造，所以其充型只要保证能顺利充满型腔（即不允许有浇不足的缺陷）即可，不必过多地考虑其补缩问题。其组织的紧密，是靠后面的锻造工序来完成的。

用连锻工艺生产的工件，一般多为壁厚较厚的工件，故其充型通常均较顺利。连锻生产中的合金液充型有如下两种形式：

1. 直接充型方式 直接充型如图 1-4 所示。从图中看出, 合金液在压头的作用下(用低压铸造方式充型时, 则是在低压压力的作用下)直接充入型腔。这种方式常用在一模一件的连锻方式中。直接充型时, 合金液的流动路程较短, 流动速度较慢, 也较平稳。合金液的流动速度慢, 对于排除型腔内的气体是有利的。但对于形状复杂或壁厚差较大的连锻件, 而当模温又较低时, 往往会产生浇不足的缺陷。

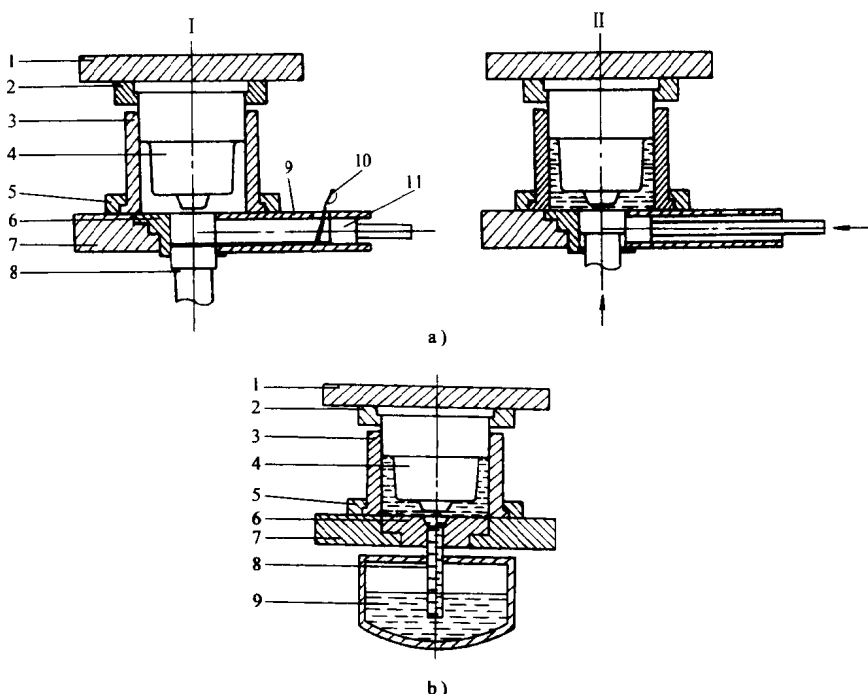


图 1-4 直接充型方式原理图

a) 压铸式充型

I—合模、浇注 II—充型

1—上模板 2—上模压板 3—下模 4—上模 5—下模压板 6—料筒

7—下模板 8—下压头 9—输液管 10—定量勺 11—输液管压头

b) 低压铸造式充型

1—上模板 2—上模压板 3—下模 4—上模 5—下模

压板 6—料筒 7—下模板 8—输液管 9—低压铸造炉

2. 间接充型方式 间接充型方式一般在一模多件的情况下采用。合金液充型要先经过浇道才进入型腔, 如图 1-5 所示。由于浇道较长, 截面较窄, 为保证顺利充型, 要求合金液的流动速度稍高。在进行模具设计时, 要注意排气通畅。

无论采用直接充型方式还是间接充型方式, 都会遇到在压铸和低压铸造中

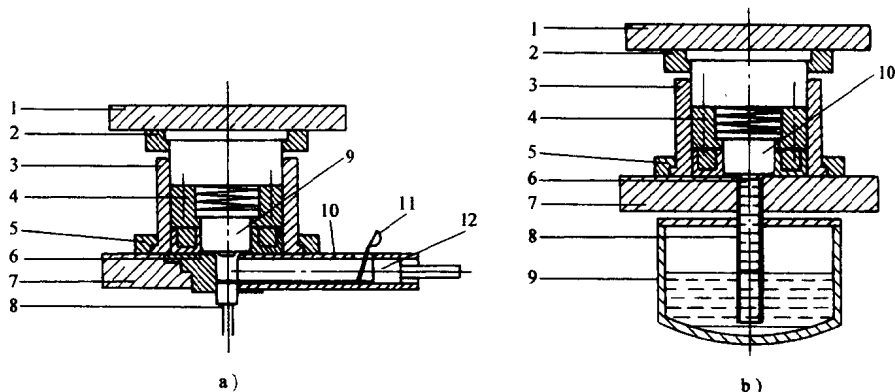


图 1-5 间接充型方式原理图

a) 压铸式充型

1—上模板 2—上模压板 3—下模 4—上模 5—下模压板 6—料筒 7—下模板 8—下压头 9—分流锥 10—输液管 11—定量勺 12—输液管压头

b) 低压铸造式充型

1—上模板 2—上模压板 3—下模 4—上模 5—下模压板
6—料筒 7—下模板 8—输液管 9—低压铸造炉 10—分流锥

常见的合金液二次氧化的问题。为了减少合金液的二次氧化，可在浇注前用压力氮气将型腔内的空气排出。模内的空气排出后，氮气就占满模具型腔的空间。这样合金液充型时就会大大减少二次氧化的问题。如果充型前，用氩气充满型腔则效果更好，但成本较高。

1.3 连锻生产中的锻造过程分析

连锻是合金液铸造、凝固后，就立即在封闭模内进行锻造的。因此它具有如下的特点：

(1) 连锻所需的锻造力比通常的锻造小。其原因是铸造、凝固后，就立即在封闭模内进行锻造，始锻温度要比通常锻造高很多。这样一来，连锻时遇到的变形抗力就较低。尽管通常在封闭模内锻造（精锻）所需的锻造力是较高的。但由于上述的原因，连锻所需的锻造力可与一般的开式模锻所需的锻造力相当。

(2) 在封闭模内进行锻造，其塑性变形处于三向压应力状态，连锻件不易产生锻造裂纹。采用一般的铸—锻联合工艺时，其铸坯则往往在锻造时产生裂纹。

(3) 由于锻造时，在锻造力的作用下，连锻件的表面与模壁紧密相贴。所以连锻件表面光洁，其表面粗糙度值可达 $1.6 \sim 3.2 \mu\text{m}$ 。模具型腔的表面越光洁，则连锻件的表面质量越高。

(4) 连锻件的尺寸精确，非重要的配合面一般不需加工。只要模具设计、调试好，其尺寸精度可与一般的精锻精度相当。

(5) 连锻件的力学性能与通常锻件一样，且无明显方向性。

(6) 由于连锻开始时的温度较高，一般需要较长的保压时间，但其生产率还是很高的，一台设备的年生产率可达 10~20 万件。

根据连锻件的结构不同，锻造时有如下三种方式：

1. 单向锻造 如图 1-4b 和图 1-5a, b 所示，其锻造力只由凸模施压。这种连锻方式的模具结构简单，连锻件脱模时要采用打料机构。

2. 对向锻造 如图 1-4a 所示，其锻造力可用凸模和下压头同时加压。这种连锻方式多用于壁厚差较大的连锻件。它的合金液充型方式以压铸方式充型较好。合金液充型的入口处，应尽可能选在壁厚较厚的地方。连锻件脱模可设计成用下压头顶出（见图 1-3）。

3. 多向锻造 对于有侧向孔洞（或凹坑）的连锻件，可以利用形成孔洞的型芯，对连锻件进行侧向锻造，如图 1-6 所示。因此，如果连锻件在侧向有个别较厚的地方需要进行锻造时，也可采用多向锻造。

无论采用哪种连锻方式，其实质都是利用锻造力，使疏松而粗大的铸造组织，通过塑性变形，锻造成紧密而细小的锻造组织。由于是在封闭模内锻造，塑性变形时，锻造力既要克服材料的变形抗力，还要克服模具的摩擦阻力。实践证明，只要锻造力适当，就能得到性能优良的连锻件。

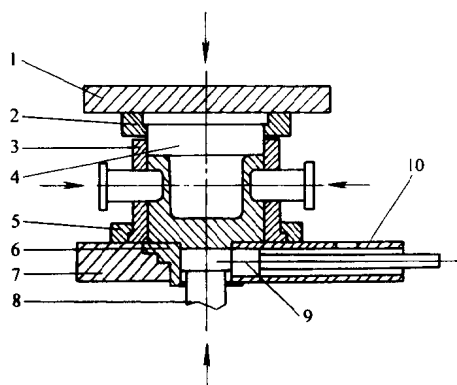


图 1-6 多向锻造原理图

1—上模板 2—上模压板 3—下模
4—上模 5—下模压板 6—料筒 7—下
模板 8—下压头 9—输液管压头 10—输液管

第2章 连锻技术分析及工艺参数

2.1 连锻件的结构工艺性分析

连锻件的结构工艺性是指连锻件对连锻工艺的适应性,亦即是否适合用连铸连锻的方法来生产。如果该件的结构在采用连锻工艺生产时,其模具结构简单,便于加工;成品率和生产率高;生产成本低,则该件的结构工艺性好。连锻工艺是在合金液充型、凝固后,立即进行锻造。它同时有铸造和锻造的特点。因此,连锻件的结构工艺性主要考虑连锻件的形状、连锻件的精度、连锻件的表面粗糙度等方面。

2.1.1 连锻件的形状

1. 连锻件的形状应易于模具制造、有利于合金液充型和锻造力分布均匀。连锻件的形状最好是轴对称旋转体(见图2-1),其次是轴对称非旋转体(见图2-2)。这两种形状的连锻件,模具制造较易,合金液充型顺畅,锻造力分布均匀。应尽量避免非轴对称件(见图2-3),这种形状的连锻件,除了模具制造较难外,合金液充型和冷却不均匀,锻造力分布也不均匀。

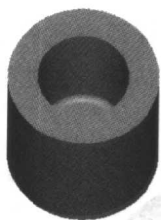


图2-1 轴对称旋转体

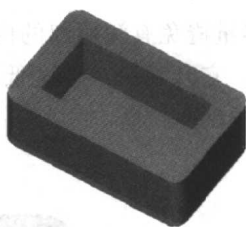


图2-2 轴对称非旋转体

2. 连锻件的形状应有利于脱模。如图2-4所示的连锻件,要用活动型芯才能脱模,其模具结构十分复杂,生产率很低,其锻造力分布也不均匀,所以这样的形状应尽量避免。

3. 与脱模方向一致的非加工表面要有结构斜度(见图2-5)。由于连锻的模具可以设计成有打料机构,所以其结构斜度一般为 $0.5^{\circ} \sim 1^{\circ}$ 。若无打料机构,结构斜度应为 $5^{\circ} \sim 7^{\circ}$ 。

4. 连锻件的壁厚不宜太薄 连锻件的壁厚太薄, 合金液充型、凝固后温度迅速下降, 产生较大的变形抗力, 使以后的锻造过程难以进行。采用连锻工艺的工件, 壁厚最好大于 6mm。

5. 连锻件的壁厚应尽量均匀 连锻件的壁厚均匀, 既使合金液充型通畅, 也使锻造力分布均匀。



图 2-3 轴不对称件

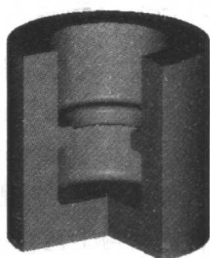


图 2-4 难脱模件



图 2-5 带结构斜度的连杆

6. 尽量避免有深而细的内孔 (见图 2-6) 形成深而细孔的型芯工作条件十分恶劣。它升温快, 强度低, 刚性差, 易与合金液粘焊, 会在锻造过程中折断, 或在脱模时拉断。

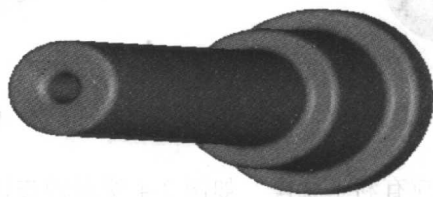


图 2-6 有细而深孔的工件

7. 连锻件的圆角 (见图 2-7) 连锻件的内表面交接处不允许成尖角。否则在凝固或锻造过程中, 由于应力集中, 在尖角处会开裂。若产品要求必须有尖角, 则可预留加工余量以形成圆角。连锻件的外表面交接处也不允许成尖角,

否则模具在热处理，或锻造时也会在尖角处开裂。若产品要求在该处必须有尖角，在模具设计时，在该处设计成组合（镶块）式。

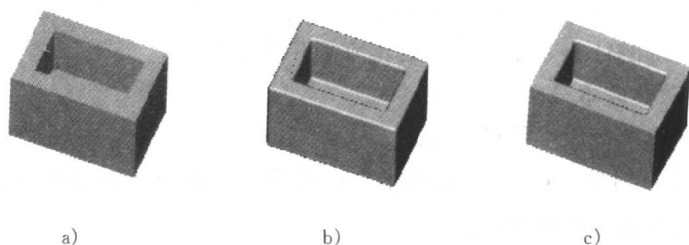


图 2-7 连锻件的圆角

a) 不好（内外均无圆角） b) 较好（内外均有圆角） c) 允许（有内圆角）

2.1.2 连锻件的精度

连锻件的精度应与连锻技术所能达到的精度一致。这样可以减少不必要的加工，有利于提高经济效益。连锻技术所能达到的精度比一般的铸造和锻造高，可达 IT10 ~ IT14。其精度的高低，主要决定于如下的因素：

1. 锻造量的计算 锻造量的计算是否准确，直接决定了连锻件的精度，锻造量过高或过低，连锻件的精度都降低。锻造量过高，既消耗金属材料又增加机械加工工时；锻造量过低则会造成连锻件报废。

2. 模具的设计、制造和调整 显然模具设计合理，加工制造完善，调整精确，其加工出来的工件精度就高。反之，其精度就低。

3. 工艺参数 充型时合金液温度的高低、脱模时连锻件的温度、余热热处理方法是否正确等，都是影响连锻件精度的主要工艺参数。充型合金液温度的高低间接影响着锻造量的大小。因为合金液温度高，合金液充满型腔后，其收缩率大，实际上减少了其预留的锻造量；反之，合金液温度低，合金液充满型腔后，其收缩率小，实际上增加了其预留的锻造量。而脱模时连锻件的温度，则影响到连锻件线收缩大小。由于合金的线收缩率较少，有时可以忽略其影响。余热热处理方法是否正确，则会影响连锻件的变形。

2.1.3 连锻件的表面粗糙度

连锻件的表面粗糙度与模具型腔的表面状况、涂料质量及锻造力大小有关。模具型腔表面光洁，则连锻件的表面也光洁；涂料质量好，涂刷均匀，则合金液充型通畅，不易粘模，所获得的连锻件表面就较光洁；锻造力足够大，使连锻件与模壁紧密接触，不产生表面微缩，其表面就光洁。否则，若出现表面微缩，则其表面就变得粗糙。一般情况下，有色金属连锻件的表面粗糙度值为 0.8 ~ 6.3 μm 。