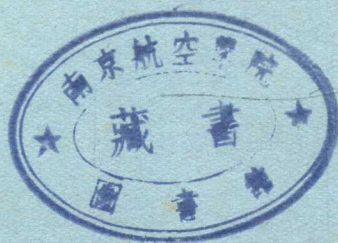


国外多向模锻技术

(航空锻造基地参考资料之二)



第三机械工业部第六二一研究所

一九七七年三月

前 言

随着航空事业的发展，迫切要求我航空工业迅速建成以巨型水压机为中心的航空锻造基地。为了积极配合这一重大工程的建设，我们将陆续出版一套介绍国外航空锻造基地建设情况，以及有关国外航空锻造工艺、设备、材料等方面的情况的专题资料，供我有关人员参考之用，俾能更好了解国外，赶上和超过国外。

本专题是其中的第二份，主要介绍国外多向模锻技术的发展、应用和有关设备和工艺情况（第一份专题资料为“国外航空锻造工业及锻造公司情况”，已出版）。

本专题由 621 所翻译整理。由于我们工作能力所限，文中有错误和不妥之处，恳请批评指正。

第三机械工业部航空锻造基地情报组



311882

目 录

1. 在18000吨模锻压力机上制造大型锻件
2. 用多向模锻工艺锻出的优质锻件
3. 喀麦隆钢铁有限公司利汶斯顿工厂生产的复杂锻件
4. 工厂实验室

在18000吨模锻压力机上制造大型锻件

美国在第二次世界大战以后所建造起来的大型压力机只能用于模锻大型铝合金零件。现在超音速飞机要求使用高合金钢和特殊合金，但由于这些材料比较稀缺，而且所需零件尺寸又太大，因此这些材料的使用受到限制。得到规定的机械性能和生产这些零件的经济性具有着特殊的意义。往往去掉的切屑要占模锻件重量的80%，因此，需要这样的模锻工艺——使模锻件的形状尽量接近于成品制件的形状，并留有最小的加工余量。

用现有的压力机来制造这样的模锻件，特别是用封闭模来模锻这种大型模锻件，是不能满足上述要求的。甚至在模锻钢时使用模锻铝合金航空零件用的最大压力机也不能完全解决这个问题，尤其近来随着涡轮制造业和原子动力工业的发展，对高强度钢模锻件的需要量越来越增加了。

美国模锻钢用的最大压力机的压力为10000吨。该压力机是在九年前投产使用的并主要是为航空工业服务的，其生产计划包括制造飞机起落架、火箭燃料储存器底部、翼肋和涡轮盘等模锻件。但是，要用这台压力机制造高强度钢模锻件，其压力是不够的，还必须设计制造新的动力设备，于是就设计了18000吨的模锻压力机，并用了六个月的时间把它制造成了。这台压力机的主要结构特点是有侧柱塞。这是根据10000和4500吨两台压力机的工作经验而提出来的。

这台新型模锻压力机的原型机示于图1。压力机的框架由12块钢板组成的，每一块钢板重60吨。框架总高15米，框架开口高度4.5米。模具重量达90吨。位于压力机上部的八个缸产生的总压力为18000吨。在压力机上部还装有穿孔缸，其压力为3500吨，该缸与主缸无关。主缸的最大行程为2250毫米。装有上半模的活动横梁的回程是通过总压力为850吨的四个回程缸来实现的。每个侧缸产生的压力为4500吨，但是压力机操纵系统还能在短时间内把这个压力升高到6800吨。侧柱塞上装有侧模或穿孔冲头。在压力机框架的下部装有顶出缸，其压力为590吨。蓄能系统由三个空气罐和一个水-空气罐组成，其总容量为82000公升。蓄能器用三个水泵供水，每个泵的功率为550千瓦。蓄能站除了供给18000吨压力机用水外，还供给安装在附近的两台普通立式结构的压力机的用水。在18000吨压力机的左方安有3600吨的开坯机；其右方安有5400吨的穿孔压力机。沿着压力机这条生产线有运输平板车跑动，用它来运送模具和其他重型装备。在18000吨压力机上能制造的模锻件，其最大重量为13.5吨。该压力机除了用一般模具（上半模和下半模）以外，还可以侧模，模锻出无飞边的模锻件来，并无模锻斜度。图2所示的是利用侧柱塞模锻的三种方法。图2a所示的是所谓垂直分模模锻法。在这种情况下，侧模围绕热毛坯闭合，冲头从毛坯的顶部穿入使毛坯材料受到冲挤而充满模腔。模锻结束后，退回穿孔冲头，使侧模打开并顶出模锻件来。

毛坯穿孔可以穿透也可以穿一部分（就是穿到一定深度的盲孔）。垂直分模模锻法的使用要根据毛坯材料的体积（即是用穿孔冲头穿孔时应迫使材料充满模腔）和模锻件所需机械性能而确定的。该方法的优点是穿孔时把毛坯中心的铸造组织破碎掉。用这种方法穿透孔

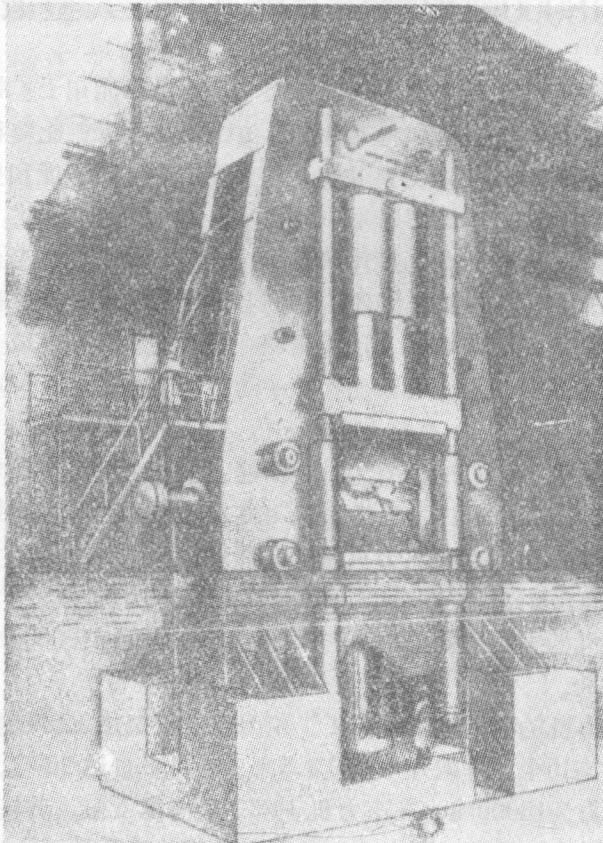


图 1

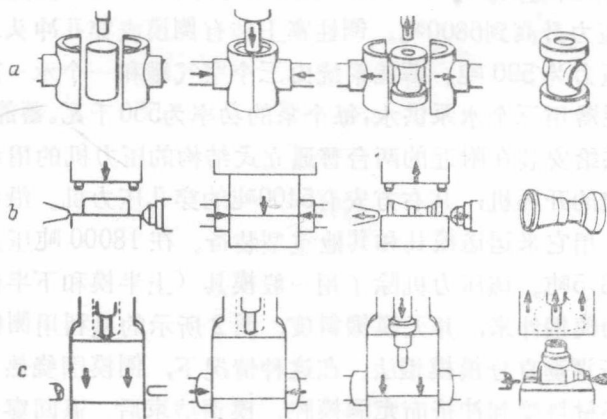


图 2

或者部分穿孔均不需要用钻头或铣刀来去掉模锻件的中心部分，与此同时也不会割断模锻件的流线。这种模锻件的机械加工量是很小的。

图2b所示的是水平分模模锻法。下半模固定在压力机的工作台上，上半模固定在活动横梁上。与垂直分模模锻不同的是压力由侧缸和穿孔缸产生，水平分模模锻能充分利用压力机的压力。在侧柱塞上装上相应形状的穿孔冲头，当它穿入热毛坯时就能充满模腔，但在这种情况下不能穿透孔。

图2c所示的是联合分模模锻法。在这里，当把主模闭合后，用装在两侧柱塞上的穿孔冲头进行部分的穿孔。然后用穿孔缸进行垂直穿孔。穿孔时毛坯材料在流动并充满模腔。这种模锻方法很象冲挤模锻法。

18000吨压力机还可用来模锻钼、钨、钼、铌及其他稀有金属。由于这些金属具有很大的变形抗力，那末要模锻这些金属就需要很大的压力，到现在为止只有用来模锻铝合金的重型压力机才能产生这么大的压力。但是这些压力机，除了32000吨的以外，都没有侧缸。因此，在这些压力机上是不能用上述方法进行模锻的。32000吨压力机有两个侧缸，每缸的压力为2700吨，而18000吨压力机的每一侧缸的压力为4500吨。因此，用稀有金属制造大型模锻件时，都是用18000吨压力机进行的。因为稀有金属很贵，用这种方法模锻这些金属特别节省。

在18000吨压力机上可以挤压大直径管材。在挤压管材时从压力机上卸去穿孔柱塞，于是在活动横梁上就形成直径1400毫米的孔，可以挤压长达9.1米的管材。把心轴固定在压力机工作台上，心轴上穿上一个热毛坯。把专用模具固定在活动横梁上，当横梁下降时，模具就从外面完全盖住穿在心轴上的毛坯。在挤压过程中金属向上通过由心轴和上模内壁形成的环形间隙而流动。从理论上讲，用该压力机可以挤压出直径1400毫米的管材，但是这种管材尚未生产。据美国一个公司的资料报导，用这种方法挤压出的最大管材（空心型材）的直径为1020毫米。管材的最大长度为3600毫米。预计在1962年使管材的长度达到9100毫米。用这种方法可由重2700公斤的铬镍钢挤压出航空涡轮发动机的空心轴。轴的外径为305毫米，长3800毫米。在轴端上挤成一个直径910毫米的法兰盘。轴的内孔只需进行稍微的机械加工就可。

译自《Технология и оборудование кузнечно -
штамповочного производства》1963. №2
Р.18~22.

用多向模锻工艺锻出的优质锻件

前 言

十多年来日益要求锻造工业锻出比过去用铸造、普通锻造和焊接成形方法制造的更大和更复杂的锻件。为了满足这种要求已建造出大型多向模锻水压机。由于多向模锻件既便宜又好，所以它已逐步地扩展到由铸造和普通锻造工业所把持的市场。

锻 造 设 备

为了生产大型复杂锻件，美国已建成吨位达 45000 吨的大型水压机。图 1 所示是这种水压机中一台典型的多向模锻水压机，它有很大的灵活性，其四个独立的滑块能单独地工作和同时工作。八个主柱塞缸的分布方式允许很容易地在垂直方向进行挤压成形。该水压机的操作原理见图 2。由于可在水平和垂直方向安装模具，故可生产出几乎任何形状的锻件。

随着多向模锻工艺的发展，很自然的就要求辅助设备、搬运设备和模具加工设备都得上去，否则就会限制大型水压机（如像美国空军正在搞的 180000 吨水压机）的发展。上述设备的细节就不在此讨论了，因为它不属于本文讨论的范围。

铸件和多向模锻件的比较

多向模锻工艺原来用于仅由铸造技术才能经济生产的零件，例如图 3 所示的石油和动力工业用的节流阀、蒸汽箱节流阀和防喷阀等。多向模锻工艺同普通铸造工艺相比，其主要优点是：流线分布使锻件的最高机械性能产生在零件最大应力范围内；具有均匀的显微组织，从而使整个锻件获得最佳的均匀性能；可以避免不希望有的铸造缺陷，如像外来夹杂、疏松和表面缺陷等。铸造和锻造闸阀低倍组织的对比示于图 4，而其机械性能示于图 5。锻造阀体内强度比较一致并有优良的塑性和韧性（后者是用拉伸延伸率和抗冲击力测定的）。这种塑性和韧性对在 $+49$ 至 -46°C 环境下工作的阀体来说是极为重要的。锻件和铸件的显微组织的对比示于图 6，它说明锻件具有很均匀的细晶粒组织而铸件中具有一些偏析组织。多向模锻工艺能改进材料的质量，这对工业有相当大的影响。现在石油和动力工业在苛刻条件下工作的几乎全部复杂阀体和零件均考虑采用多向模锻工艺来制造。

应用多向模锻工艺生产起落架等零件

图7所示的飞机起落架和火炮装备过去都是用实心粗锻件加工而成的。而现在用多向模锻工艺可以锻出金属流线沿基本轮廓而不是单一方向的空心锻件。

用普通锻造工艺锻造起落架和类似形状的实心锻件时,会产生毛边,而切去毛边就会露出晶粒流线和集中的夹杂物。如果毛边区不用机械加工切除(经常有这种情况),则这个局部区域的性能就会下降。另外普通锻造需要多次重复加热使锻件受到高温影响而破坏以前变形工序所具有的一些优点。多次重复加热会使锻件组织不均匀,使机械性能发生明显地变化。如果用多向模锻方法模锻像起落架这样的锻件,则几乎所有变形用一火次就可完成,这样就把整个变形过程的优点保留下来了,消除毛边,并使性能得到很大改进,而且用料量比原来实心锻件减少50%。图8对比了多向模锻的起落架锻件与机械加工起落架用的粗锻毛坯的性能,比较结果指出,锻件的纵向和横向性能由于金属在成形过程中的分布而接近多了;并且拉伸延伸率有明显的改进(如图9所示),这正是这类承受严重冲击载荷的零件所需要的。

对许多不同质量炉次的毛坯和多向模锻后的毛坯进行了试验,那些塑性很低以至于达到临界值的毛坯于多向模锻后,都能有显著的改进,特别是塑性可提高到百分之三百。到底有多少炉次原来要想锻出实心锻件但因性能处于边界状态而应由工厂报废者在改用多向模锻后,都生产出令人满意的产品来是很难估计的。

壁厚公差小和强度大的半球和圆筒的挤压

用作载人宇宙飞船储存器的半球锻件和导弹壳体大型圆筒锻件(直径1270毫米)都必须是最高质量的。制造这些零件,采用了多种方法,从锤锻、压力机上薄板冲压到多向模锻。多向模锻工艺的主要优点是能在一火下使模锻件产生大变形量并在最大应力方向形成流线。图10照片是Camvac718合金半球锻件和Ti-6Al-4V合金制直径1270毫米的导弹壳体锻件。制造这类锻件要精心设计模具,以保证润滑剂能连续不断地送往正在变形的金属。说实在的,没有先进的润滑工艺,用现有的锻压设备生产出这类锻件是不会成功的。一火完成金属的变形便能精密控制尺寸,得到如图11和12所示的均匀细晶粒组织和优越的机械性能。用这种工艺所得的强度和塑性都超过了技术条件规定的最低要求,并且整个锻件的性能是比较一致的。这种性能的一致性为进一步检验晶粒度(不超过ASTM的2级晶粒度)所证实。Camvac718合金是一种用Cb、Ti、Al添加元素强化的Ni、Cr、Fe、Mo合金。由于这种合金的成分复杂,其最高锻造温度为1150°C,在此温度下其强度仍有70.3公斤/毫米²。所以变形(特别是半球零件的变形)要在很高的应力下进行。图11所示细的

晶粒度只能在锻造温度远低于 1150°C （在此温度下该金属仍质坚如模具）的情况下才能获得。在当前许多情况下，易于快速磨损的模具正在使用象Camvac718和901之类的合金来制造，因为这些合金的稳定性和抗软化性可高达 $649\sim 760^{\circ}\text{C}$ 。细晶粒度对这种尺寸的锻件显得特别重要，因为这些锻件用于制造盛超低温液体的容器之用。所盛气体（ O_2 和 H_2 ）的原子很小，能够通过粗晶扩散出来。值得注意的是这些锻件的壁厚大约为19毫米，而随后机械加工成1.27毫米。

用作导弹壳体大型圆筒件的理想材料应是机械性能没有各向异性或各向异性很小，从而能得到最大的抗裂纹扩展性。图10所示的钛合金锻件实际是终锻出来的，其挤压比超过8:1，并如图12所示，整个壳体得到均匀细小的晶粒组织。这些导弹壳体锻件的壁厚为19毫米，随后精加工至9.5毫米。

燃气涡轮用的盘、壳体和轴的组合锻件

燃气涡轮技术的不断发展给锻造工业用难变形镍基高温合金生产复杂锻件带来很大的压力。多向模锻水压机适用于生产这些锻件。燃气涡轮发动机用的五种典型锻件示于图13。由于镍基高温合金材料昂贵，所以需要设计出小公差锻件。然而，这些合金的难变形性又与上述设计要求相矛盾。因此，只有采用多向模锻工艺，减少加热火次和锻造工序，才能解决这二者之间的矛盾。

许多镍基合金，其很大一部分强度是通过锻造时的热冷变形而获得的，另外这种合金通过沉淀作用而进一步得到，因此为了获得所需要的性能，对这种材料就得在亚临界温度下进行锻造。图14所示的是Waspaloy合金所制组合式1、2级压气机盘锻件上所获得的性能。这些性能说明采用这种独特的模锻工艺能够生产出冶金质量良好的零件。晶粒流线对燃气涡轮来说是十分重要的，因为旋转会产生极高的离心力。图15所示的是上述锻件的低倍组织和显微组织，说明整个锻件上其结晶组织是均匀的。

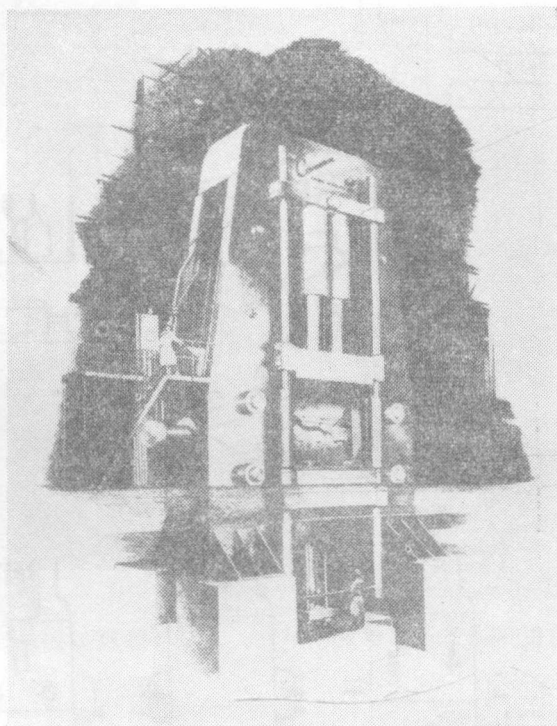
不久，多向模锻工艺将在锻造工业中有着光明的前途，因为发动机直径加大了，温度提高了，锻造性能较差的材料的需求量日益加多了，在超音速飞行所用新型发动机中就可看到这种技术上的发展情况，譬如在这种发动机上就得将Astroloy合金锻成直径为1270毫米的平盘和形状复杂的盘形件来（如图16所示）。

Astroloy是一种由3~4%Ti和Al强化了了的Ni、Co、Cr、Mo合金。这种合金的锻造温度范围狭窄，表面容易产生裂纹。此外，要想得到最佳的性能和组织，就必须把终锻和热处理温度分别控制在 14 和 3°C 之内。

结 论

今后需要的各种锻件用普通锻造方法是生产不出来的。这种特殊锻件的需要量的增加

将要求设计出能生产这些特殊产品的多向模锻水压机。例如,连续长度达15米、直径760毫米的重型管子已开始代替由普通方法(轧与焊和无缝穿孔)制造的钢管。通过上述讨论可以明显看出多向模锻水压机能够生产出公差小、冶金质量良好的锻件,并预料到这种独特、廉价、多用途和复杂的锻造工艺未来将有很大的发展前途。



- 主滑块的总压力——20000吨
- 侧滑块压力 ——5000吨(增压至7500吨)
- 穿孔滑块的压力——4200吨
- 净空高度 ——4.5米
- 工作台 ——3.6×3.6米
- 机宽 ——6.3米
- 机高 ——15米
- 机重 ——143吨
- 主滑块的行程 ——11.3米

图 1 20000吨多向模锻水压机

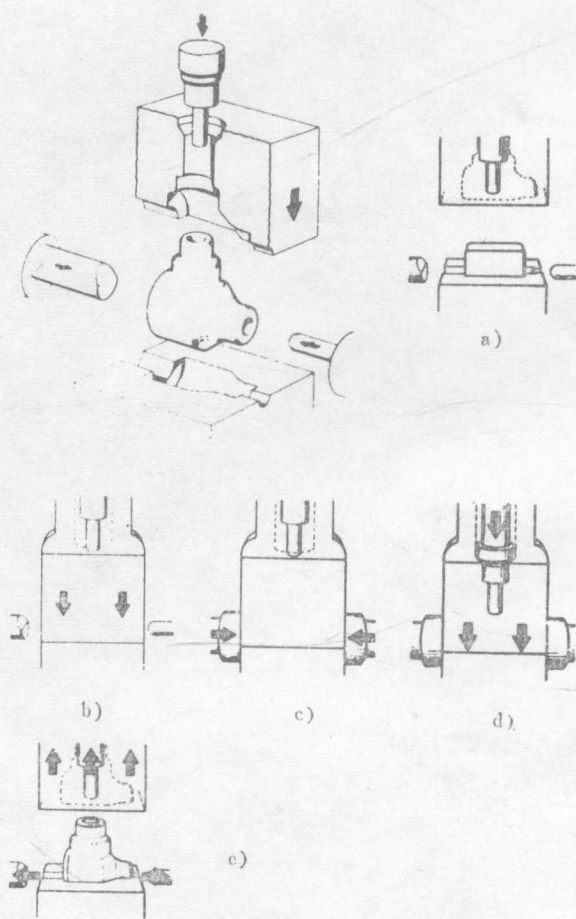


图 2 利用可分模进行多向模锻的原理

a) 毛坯置入模具中；b) 主模在毛坯上闭合并进行所需要的成形；c) 具有特定形状的侧滑块进入闭合模内；d) 具有特定形状的垂直内冲头进入闭合模内并完成锻造；e) 垂直滑块、内冲头和侧滑块退回，结果锻成带有垂直和水平凹腔和模腔外廓形状的锻件。

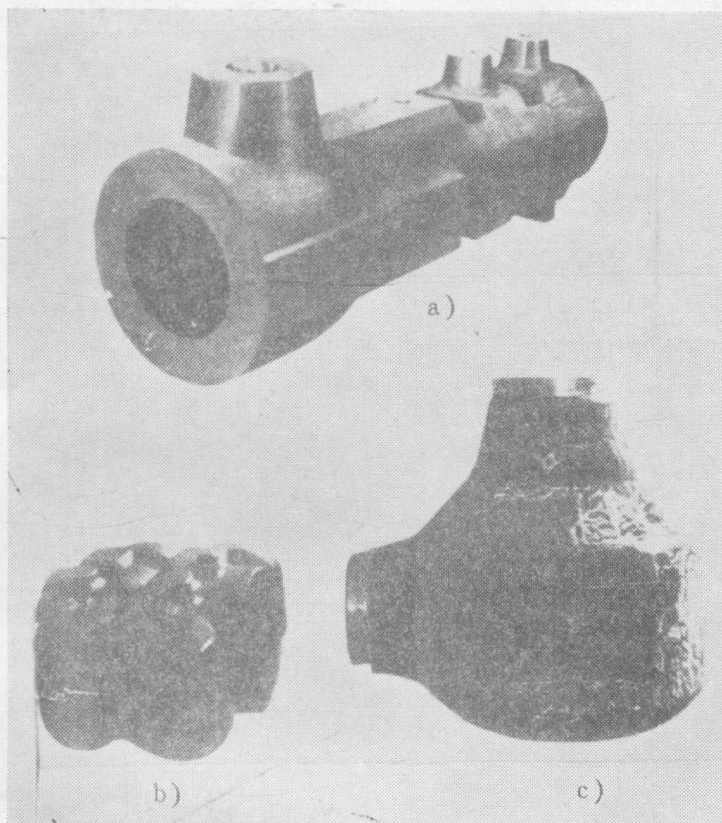


图 3 原由铸造方法而现在由多向模锻工艺制造的典型零件

a) 重 3356 公斤的蒸汽箱节流阀；b) 重 2630 公斤的双防喷阀；c) 重 680 公斤的节流阀阀体。

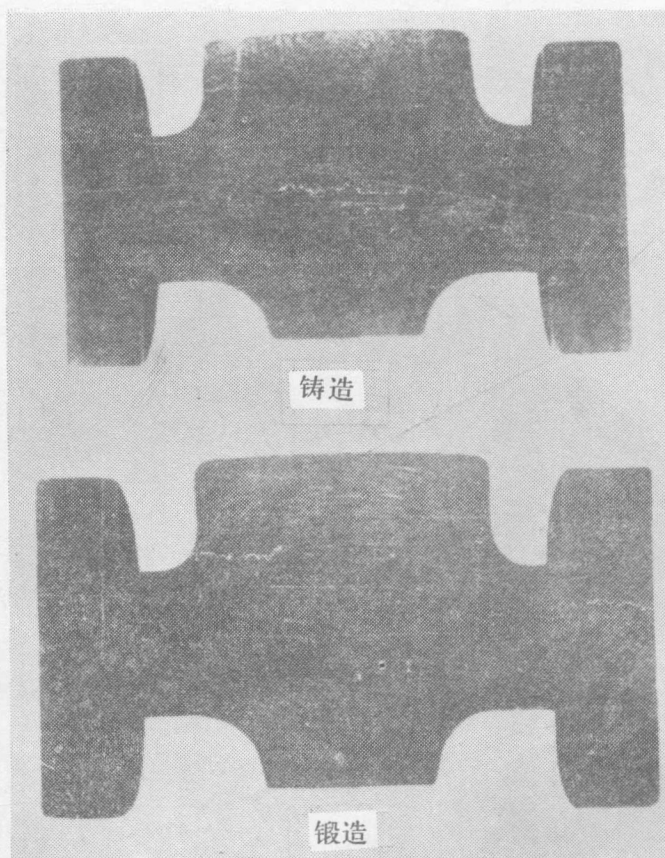


图 4 铸造和多向模锻闸阀的低倍组织的比较

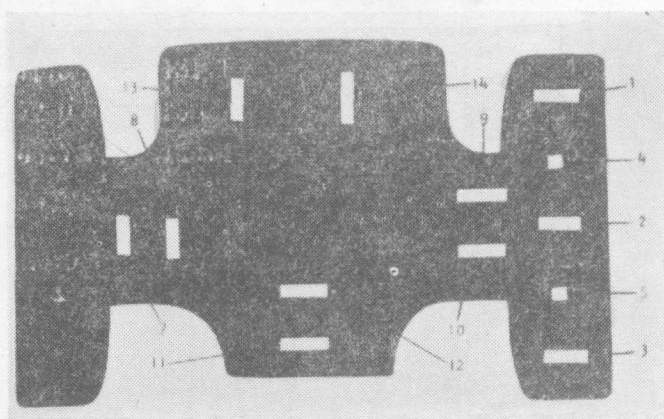


图 5 铸造和多向模锻闸阀的机械性能的比较

铸 造 的*

位 置	抗 拉 强 度 公斤/毫米 ²	屈 服 强 度 公斤/毫米 ²	延 伸 率 %	断面收缩率 %
1	74.1	38.9	15.0	18.1
2	72.5	38.2	15.0	23.7
3	72.5	39.7	16.0	26.5
4	71.4	37.9	10.0	15.2
5	73.5	40.4	20.0	27.1
7	73.5	39.7	7.0	16.7
8	67.9	38.3	6.0	10.0
9	68.6	36.9	10.0	19.5
10	67.1	37.6	8.0	13.7
11	69.9	35.5	9.0	12.2
12	66.4	36.9	6.0	12.2
13	72.8	38.2	21.0	29.3
14	71.1	39.6	14.0	23.7

重复加热处理的

14 83.3 46.7 11.0 14.4

冲 击 值

位置	公斤米
1	2.35
11	2.63
7	1.94
9	1.66

锻 造 的

位 置	抗 拉 强 度 公斤/毫米 ²	屈 服 强 度 公斤/毫米 ²	延 伸 率 %	断面收缩率 %
1	72.5	50.2	25.0	62.0
2	72.7	50.3	25.0	56.6
3	73.5	50.3	25.0	58.0
4	73.5	48.8	21.0	40.2
5	72.8	48.2	19.0	32.5
7	76.9	48.1	18.0	31.1
8	75.5	47.9	19.0	31.1
9	76.9	48.5	23.0	57.0
10	76.9	50.3	23.0	56.0
11	71.4	47.4	24.0	59.0
12	79.5	50.3	23.0	53.4
13	76.9	48.8	14.0	25.1
14	77.5	49.4	14.0	19.0

冲 击 值

位置	公斤米
1	11.75
11	10.92
7	2.90
9	13.41

*——该表为图5所取试样的性能

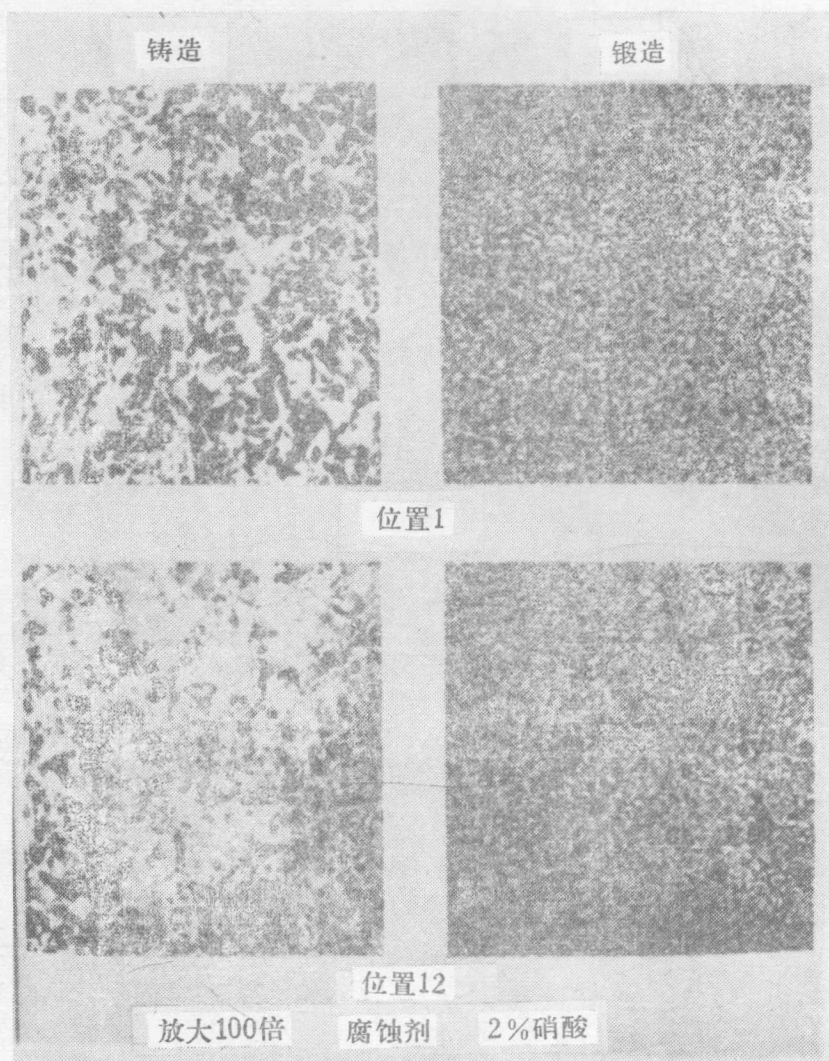


图 6 铸造和多向模锻闸阀的显微组织的比较

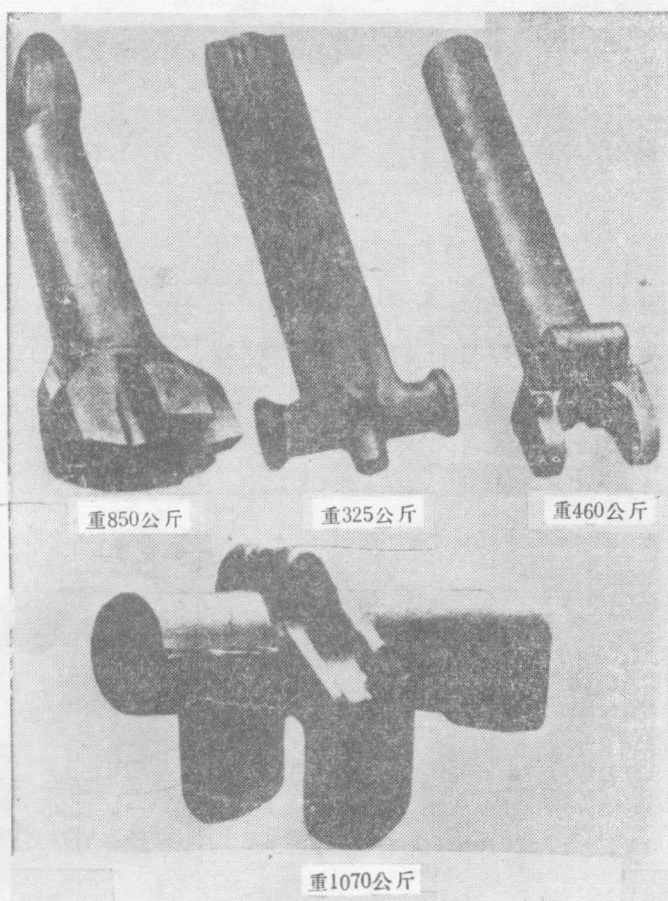


图 7 原由实心毛坯而现在由多向模锻工艺锻造的起落架锻件

B-70飞机主起落架外筒H-11热作工具钢，最小
抗拉强度热处理至196.8公斤/毫米²

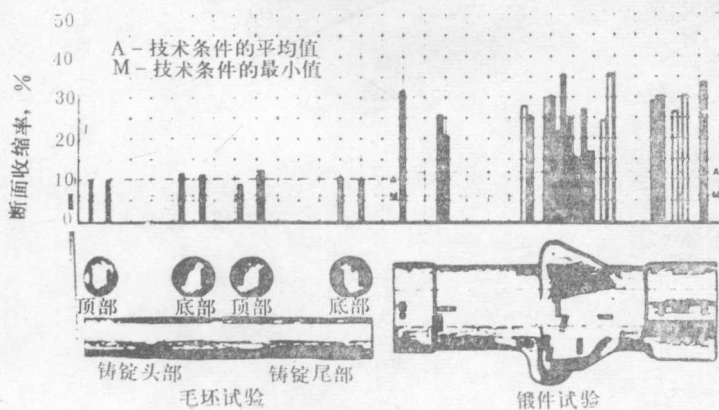


图 8 超高强度钢毛坯和由该材料多向模锻起落架的拉伸塑性的比较

加热炉号	毛坯数据			锻件数据	
	铸锭头部	铸锭中部	铸锭尾部	横向试验(6个位置)	纵向试验(6个位置)
A-9215	抗拉强度, 公斤/毫米 ² , 平均值	207.1	207.4	205.5	211.9
	断面收缩率, %, 平均值	14.8	9.3	13.7	30.4
	断面收缩率, %, 最小值	8.0	3.5	7.0	21.7
A-9213	抗拉强度, 公斤/毫米 ² , 平均值	201.6	201.4	200.4	207.3
	断面收缩率, %, 平均值	6.6	9.6	12.5	22.9
	断面收缩率, %, 最小值	5.0	6.0	9.2	20.9
B-8594	抗拉强度, 公斤/毫米 ² , 平均值	204.0	205.8	205.3	210.8
	断面收缩率, %, 平均值	9.0	5.3	7.7	24.3
	断面收缩率, %, 最小值	6.2	2.3	6.6	18.1
A-9217	抗拉强度, 公斤/毫米 ² , 平均值	201.5	202.5	191.3	198.4
	断面收缩率, %, 平均值	10.4	12.4	10.3	27.9
	断面收缩率, %, 最小值	4.5	8.5	3.0	17.5
A-9535	抗拉强度, 公斤/毫米 ² , 平均值	204.8	—	201.1	198.7
	断面收缩率, %, 平均值	8.3	—	10.4	29.1
	断面收缩率, %, 最小值	5.0	—	3.1	15.2
A-9536	抗拉强度, 公斤/毫米 ² , 平均值	204.4	203.1	204.6	201.0
	断面收缩率, %, 平均值	11.1	13.9	7.7	32.0
	断面收缩率, %, 最小值	7.7	9.6	4.7	23.7
A-9537	抗拉强度, 公斤/毫米 ² , 平均值	197.8	201.1	201.8	202.9
	断面收缩率, %, 平均值	12.5	18.0	10.8	31.8
	断面收缩率, %, 最小值	5.0	13.4	5.4	25.1

图 9 多向模锻起落架(主起落架外筒)与锻件毛坯的拉伸试验结果比较 (摘要)