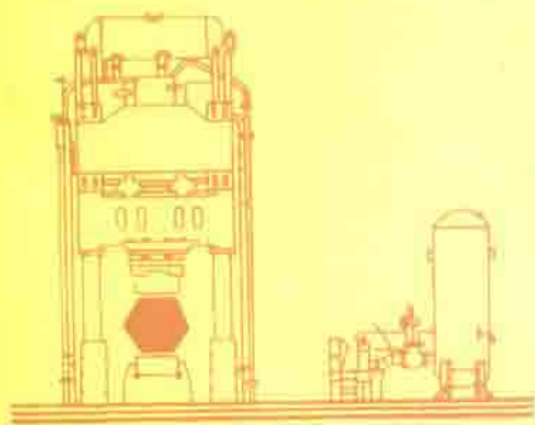


大型锻件的生产

《大型锻件的生产》编写组 编



机械工业出版社

大型锻件的生产

《大型锻件的生产》编写组 编

机械工业出版社

该书简要地叙述了大型锻件的锻造特点，影响轴类锻件切向机械性能的因素，钢锭和钢坯的加热以及冷轧辊、叶轮、转子、护环、曲轴、吊钩、轴承圈等大型锻件的锻造生产实践经验。同时结合叶轮锻造，介绍了预防白点的锻后热处理工艺。同时结合轴承圈的生产，介绍了消除网状碳化物的实验。最后还介绍了断裂力学在大型锻件中的应用问题。

大型锻件的生产

《大型锻件的生产》编写组 编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

北京印刷二厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32·印张 10 3/4·字数 237 千字
1978年3月北京第一版·1978年3月北京第一次印刷
印数 00,001—14,000·定价 0.86 元

*

统一书号：15033·4414

前 言

在毛主席无产阶级革命路线指引下，我国锻造行业的广大职工，坚决贯彻执行党的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线，和“独立自主、自力更生”的方针。特别是无产阶级文化大革命以来，我国大型锻件的生产得到了迅速发展，取得了很大的成绩。

随着社会主义革命和社会主义建设事业的蓬勃发展，工业、农业、国防和科学技术等各方面，对大型锻件的生产提出了更高的要求。为了总结和交流经验，促进大型锻件生产水平的进一步提高，由太原重机厂、太原重机学院等单位组织三结合小组编写了这本书，其中大部分由周积忍同志执笔编写。

在编写过程中，曾得到第一重型机器厂、第二重型机器厂、沈阳重型机器厂、上海重型机器厂、清华大学、东北重机学院等单位的大力支持。对此，表示衷心感谢。

由于时间仓促、没有很好学习和收集兄弟单位的先进经验，加以我们的水平不高，经验欠缺，书中缺点、错误和不足之处，恳切希望读者批评指正。

《大型锻件的生产》编写组

1976年

目 录

前 言

第一章 大型锻件的锻造特点	1
第一节 大型锻件生产的重要性	1
第二节 大型锻件用钢的选择	2
第三节 大型锻件用的钢锭	3
一、钢锭的结构	3
二、钢锭的偏析	5
三、锻造用的钢锭	15
四、炼钢与铸锭的改进	18
第四节 大型锻件锻造	20
一、成形	20
二、质量	23
第五节 大型锻件的锻后热处理特点	27
一、锻后热处理的目的	27
二、锻后热处理的特点	27
第二章 影响轴类锻件切向机械性能的因素	30
第一节 锻造工序的影响	30
一、碱性平炉45钢电机轴生产情况	30
二、碱性平炉35钢电机轴生产情况	33
三、碱性电炉40钢电机轴生产情况	35
四、结论	39
第二节 热处理工艺的影响	40
第三节 冶炼因素的影响	43

第三章 钢锭和钢坯的加热	49
第一节 锻造温度范围的确定	49
一、始锻温度	49
二、终锻温度	50
三、钢锭与钢坯的锻造温度范围	51
第二节 加热工艺的制订	51
一、温度应力及其影响因素	51
二、钢的塑性对加热工艺的影响	61
三、钢锭和钢坯的加热规范	63
四、脱模锻造试验	77
第四章 冷轧辊锻造	80
第一节 冷轧辊的技术要求及钢号选用	80
第二节 冷轧辊的锻造工艺	83
一、不镦粗、一次镦粗、二次镦粗的试验	83
二、镦粗工序对疲劳极限的影响	87
三、冷轧辊锻造工艺	87
第三节 冷轧辊的锻后冷却工艺	91
第五章 叶轮锻造	96
第一节 叶轮锻件的技术要求	96
第二节 叶轮锻造工艺分析	100
一、叶轮锻造工艺	100
二、叶轮锻造工艺分析	104
第三节 叶轮锻造工具	119
第四节 叶轮其它锻造工艺	120
一、叶轮胎模锻造	120
二、无孔实心叶轮锻造	123
三、Cr17 Ni2叶轮锻造	124
第五节 叶轮的锻后冷却	124
一、白点与“亮点”	127

二、缩短热处理周期的讨论	128
三、叶轮冷却工艺	142
第六章 护环锻造	144
第一节 概述	144
一、护环的工作条件及要求	144
二、护环的强化原理	145
三、护环用钢	146
四、护环锻件的工艺流程	157
第二节 冶炼、浇注对护环锻造的影响	158
一、冶炼	158
二、浇注	159
第三节 护环热锻工艺	160
一、加热	160
二、锻造工序	161
三、减少热锻裂纹的措施	164
第四节 奥氏体化处理	169
第五节 护环半热锻强化	170
一、半热锻的工艺参数	170
二、护环残余应力的消除	182
三、半热锻护环的解剖	183
第六节 护环爆炸强化	186
一、爆炸加工的特点	187
二、爆炸强化的装置	189
三、爆炸强化的工艺参数	193
四、提高护环爆炸强化质量的措施	201
第七节 护环球面模具冷胀孔	205
一、鼓形冲子的设计	206
二、冷胀变形程度的确定	207
三、冷胀孔强化存在的问题	208

第八节 护环沉淀硬化	209
一、沉淀硬化试验	209
二、沉淀硬化护环的质量	213
三、几点看法	215
第九节 护环的其他生产方法	216
一、芯棒冷扩孔	216
二、冷楔块扩孔	218
三、液压法	220
四、综合强化法	221
五、铸锻护环	221
六、电渣重熔直接熔铸护环	221
第七章 转子锻造	222
第一节 转子的锻造工艺分析	222
第二节 锻造工序	225
一、压把、倒棱、切除钢锭底部	225
二、钢锭的墩粗	226
三、拔长	232
四、中心压实法	237
五、转子锻造工艺举例	240
第三节 锻后冷却	240
第八章 曲轴锻造	247
第一节 概述	247
第二节 半连续纤维锻造	252
一、六拐曲轴的锻造	252
二、曲臂的锻造	266
第三节 全纤维锻造	277
一、弯曲墩锻	277
二、错挤工艺	279
三、其他方法	280

第九章 吊钩锻造	282
第一节 概述	282
第二节 单钩锻造	283
一、拉梢	283
二、弯曲	290
三、焖形或拍扁	292
第三节 双钩锻造	294
一、拔坯	294
二、局部展宽镦粗	295
三、冲孔	295
四、切口	295
五、双钩锻造举例	296
第十章 GCr15 SiMn 轴承圈网状碳化物的消除	299
第一节 概述	299
一、轴承圈的技术要求	299
二、消除网状碳化物的途径	300
第二节 网状碳化物形成规律的实验	303
一、加热、锻造对网状碳化物的影响	304
二、终锻温度对网状碳化物的影响	309
第三节 试验结果在生产上的应用	315
第十一章 断裂力学在大锻件中的应用	318
第一节 问题的提出	318
第二节 线弹性断裂力学	320
第三节 弹塑性断裂力学	324
一、J积分方法	324
二、J积分值的测定	326
第四节 断裂力学在转子锻件质量分析中的应用	328
一、临界裂纹尺寸的计算	329
二、交变应力引起的裂纹扩展	331

第一章 大型锻件的锻造特点

第一节 大型锻件生产的重要性

随着我国社会主义革命和社会主义建设事业的迅速发展，在电力工业、造船工业、宇宙、航空工业、国防工业、重型机械制造业等各个部门提出了制造大容量、大功率、高性能、高参数大型锻件的需要。例如：电站设备中的转子、护环、主轴、叶轮；船舶发动机的曲轴和推力轴；轧钢机中的冷、热轧辊；起重机用的吊钩；喷气发动机用的涡轮盘和大型轴承圈以及高压容器等等，都是这些产品中的关键零件。因此，多、快、好、省地生产大型锻件，对于迅速发展我国的工农业生产，巩固国防，支援世界革命都具有重大的意义。

解放前，我国没有重型锻压设备，根本谈不上生产重要的大型锻件。解放后，在党和毛主席的英明领导下，我国不仅制成和安装了12000吨锻造水压机，而且各地正在形成以3000~8000吨水压机为主的锻造基地，并不断改进和完善冶炼与热处理设备，采用新技术，新工艺和生产的机械化。因此，在我国大型锻件的生产，获得了空前的发展。

大型锻件的生产是一个十分复杂而又繁重的工作。它的生产过程主要包括：炼钢原材料的精选和准备、钢的冶炼、钢锭的浇注、钢锭的加热与锻造、锻件的冷却与热处理、加工与检验，以及包装出厂等。它的生产周期长、劳动量大、价格昂贵。所以，如何防止锻件发生废品，提高质量，就成为锻压生产中极其重要的问题。

大型锻件的质量问题，所以成为生产中的主要矛盾，首先是因为大型锻件在产品中处于关键的地位，受力情况沉重而复杂。为了保证使用过程中的安全，可靠，对于它的质量提出了愈来愈严格的要求，这就是大型锻件的特点之一。

其次，因为影响大型锻件质量的因素很多，涉及到冶炼、锻造、热处理等各方面。所以提高大型锻件质量是一个复杂的问题。

研究大型锻件的特点，是为了多、快、好、省地生产大型锻件。优质、高产、低消耗必须贯穿到整个的生产过程。所以要纵观全局，抓住主要矛盾，才能获得良好的效果。一般来说，大型锻件的质量，主要依靠以下几个方面来保证：

1. 正确地选用钢号；
2. 提高钢的冶金质量；
3. 合理的加热工艺和锻造温度；
4. 先进的锻造工艺；
5. 恰当的锻后冷却及热处理工艺。

第二节 大型锻件用钢的选择

在大型锻件的生产中，首先遇到的是选择钢号问题。如果用钢不当，机械性能达不到要求，造成缺陷、废品，影响产品质量和产量。因此，选用钢号时应该慎重考虑。

正确地选用钢号，不仅应该了解材料的性能，更应该了解锻件的工作条件，以及钢的冶炼、锻造、热处理等情况。选用钢号时，通常考虑如下原则：

1. 满足使用要求：在选用大型锻件钢号时，首先应该考虑零件在使用时，所必需的各种要求。如机械性能、物理性能、化学性能等等。

2. 满足工艺要求：选用钢号时，还应该考虑所选钢种便于冶炼，钢锭中的冶金缺陷少，可锻性好，以及淬透性高等。

大型锻件选用钢号时，钢的淬透性是非常重要的问题。因为钢的淬透性好，才能保证大截面深处的机械性能，满足技术要求。锻件截面上的机械性能是由表面向中心逐渐降低，特别是塑性和冲击韧性。所以，技术条件中对机械性能检验的取样位置作了明确的规定。对轴而言，一般取样位置在截面的 $\frac{2}{3}R$ 处，个别情况还要求从截面中心取样。因此，应该根据锻件截面的大小和综合的机械性能，来确定锻件用钢。此外，在选用钢号时，还应考虑钢的回火脆性问题。

3. 满足经济效果的要求：在选用钢号时，应尽量采用我国富有的锰、硅等元素的合金钢，取代稀少贵重的镍、铬等元素的合金钢。表1-1是推荐的部分锰、硅代替镍、铬的合金钢。

第三节 大型锻件用的钢锭

大型锻件一般是直接用钢锭锻造的。锻件的质量，在很大程度上决定于钢锭的冶炼、浇注质量。所以，人们说“优质钢锭是生产优质锻件的前提和基础”。

在锻造大型锻件之前，应当对钢的冶炼、浇注过程，钢锭结构和钢锭中的缺陷，有个比较清楚的了解。在此基础上，才能正确的分析和解决大型锻件生产中的问题，才能制订出合理的加热、锻造及热处理工艺。

一、钢锭的结构

钢锭结晶结构大致如图1-1所示。冒口端有缩孔、疏松、杂质聚集等，所以性能最差。底部端则由于有夹渣物沉积，也不能用做锻件。为了防止残留缺陷，上部和下部应该有一

表1-1 代用钢号的机械性能

钢 号	热处理状态	截 面 尺 寸 毫 米	机 械 性 能					备 注	
			σ_s 公斤/ 毫米 ²	σ_B 公斤/ 毫米 ²	δ (%)	ψ (%)	α_K 公斤-米/ 厘米 ²		HB
35SiMn	调	≤100	50	75	14	45	5.0	200~260	调质表面HB = 220~260 表面淬火 HRC = 40 ~45 可代用φ500 毫米以下的 4Cr
		101~300	45	70	13	35	4.0	200~260	
	质	301~500	40	65	11	30	3.0	200~260	
		501~800	35	60	10	30	2.0	200~260	
38SiMnMo	调	≤100	60	75	16	40	6.0		可代用φ500 毫米 以下的 40CrNi, 35CrMo
		101~300	55	70	14	35	5.0	200~260	
	质	301~500	50	65	12	32	4.0	200~260	
		501~800	40	60	10	30	3.0	200~260	
38CrSiMnMo	调	≤100	70	80	16	45	6.0	250~300	可代用φ300毫 米以下的40 CrNiMo, 40CrNiW,可 代用φ500毫 米以下的 34CrNiMo
		101~300	65	76	14	40	5.0	250~300	
	质	301~500	58	70	14	35	4.0	250~300	
		501~800	50	65	12	32	3.0	250~300	
35Cr2MnMo	调	≤100	80	90	14	40	7.0	250~300	可代用φ500毫 米以下的 34CrNi3Mo
		101~300	75	85	14	38	6.0	250~300	
	质	301~500	70	80	13	35	5.0	250~300	
		501~800	60	70	12	32	4.0	250~300	
18CrMnMoB	调	≤100	95	115	12	40	5.0		可代用 18CrNiWA
		101~200	90	105	12	40	5.0		
		201~300	85	100	12	40	5.0		
	质	301~400	80	92	11	40	5.0		
		401~500	75	87	11	40	5.0		
37Mn2SiMoV	调	<200	70	88	14	40	4.0		此钢强度高, 耐磨性好,可 代用 34CrNiMo做 曲轴
		201~400	65	83	14	40	4.0		
	质	401~600	60	78	14	40	4.0		

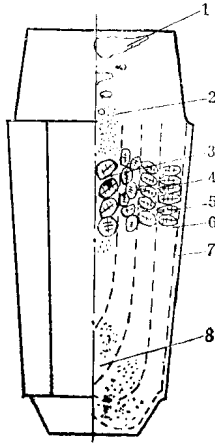


图1-1 钢锭结晶结构

- 1—缩孔 2—疏松 3—粗大等轴晶区 4—不同晶向区
5—倾斜柱晶区 6—定向柱晶区 7—外壳细晶区 8—底部沉积堆

定的切除率。对于一般大型锻件推荐：

钢 种	冒口端切除率(%)	底部端切除率(%)
炭 钢	20~22	3 ~ 5
合 金 钢	22~30	5 ~ 10

钢锭中心杂质较多，疏松较多，因此在锻造时，应该充分压实，使缺陷焊合。并要控制杂质的位置和分布，以免影响锻件质量。

二、钢锭的偏析

大型锻件的偏析是很大的。图1-2是43吨40 A 钢锭锻成的锻件，冒口端横向试片上碳和硫的偏析情况。

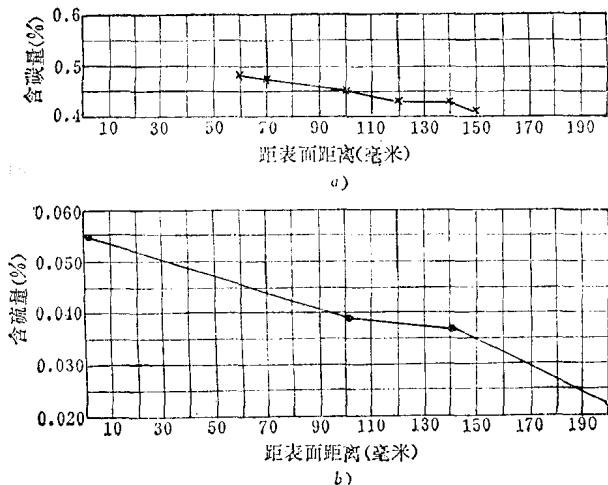


图1-2 40A钢锻件低倍试片上碳、硫分布情况
a) 碳的偏析 b) 硫的偏析

由图可知，沿截面碳的相差为0.07%，而硫竟相差0.033%（原钢液炉前分析结果：碳0.43%，硫0.027%）。

在实际生产中，锻件的化学成分，以炼钢时炉前分析结果为准。

（一）大型钢锭的偏析情况

大型锻件的偏析，是由钢锭偏析而来。图1-3是55吨34CrMo1A钢锭解剖结果。从图中可以看出：

1. 纵向

（1）碳、铬、氢沿钢锭轴线由下向上逐渐增加。以碳为例，冒口端是0.45%，高于炉前分析结果。底部端为0.28%，低于炉前分析结果。

（2）夹杂物沿钢锭轴线，由上向下波浪式增加。在距

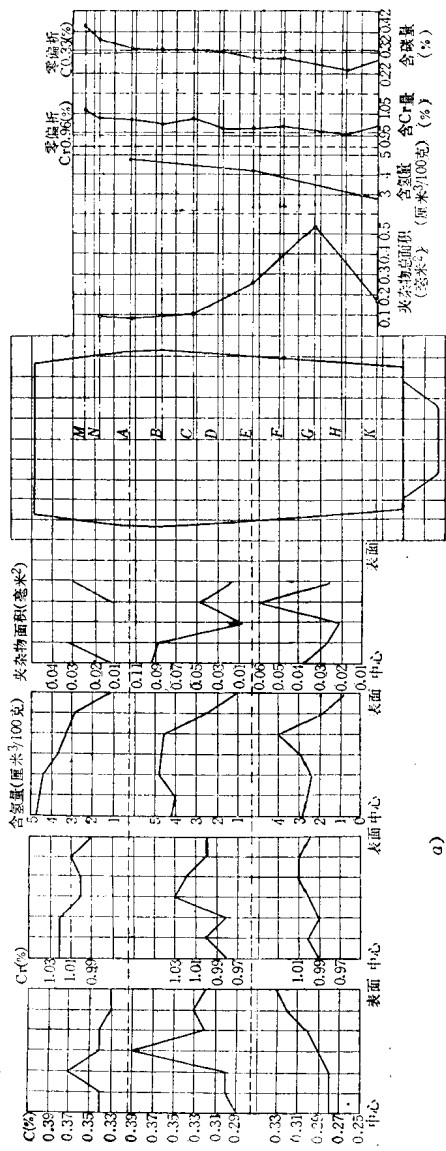


图1-3 55吨34CrMo1A钢锭解剖结果
 a) 钢锭模截面偏析情况 b) 钢锭中心纵向偏析情况

底部端约800毫米处达到最大。

2. 横向

(1) 碳:

a) 钢锭表面附近, 接近炉前分析结果。

b) 在底部端, 由表面向中心逐渐降低, 而且低于炉前分析结果。

c) 在锭身 $\frac{1}{2}$ 高度上和冒口端, 均是由表面向中心波浪式增加。碳含量最多的地方不在中心, 而在“^”偏析与“V”偏析交叉的区域, 也是硫、磷夹杂, 气体等的偏析带。

(2) 铬: 在底部端与冒口端的分布, 与碳大致相仿。在轴身 $\frac{1}{2}$ 高度上, 是由表面向中心波浪式降低。

(3) 氢: 在底部端、冒口端和锭身 $\frac{1}{2}$ 高度上, 均是表面低而中心高。

(4) 夹杂物: 在底部端、锭身 $\frac{1}{2}$ 高度上, 均是由表面向中心波浪式增加。在距底部端800毫米处, 夹杂物最多。

据研究, 在距底部端1100毫米的地方, 碳已显著地进入负偏析区。夹杂物绝大部分是硅酸盐类, 其次是二氧化硅、溶渣、硫化物、氮化钛。在后四种少量夹杂中, 又以二氧化硅较多。

研究钢锭解剖资料可知, 锭身的最大正偏析出现在钢锭上部轴线部位, 最大负偏析则出现在钢锭下部。

(二) 造成偏析的原因

偏析的成因, 一般解释为: 由于结晶, 溶解度变化和比重差异引起的。例如, 低熔点的硫、磷等杂质, 结晶后凝固, 而且冷凝时形成的相, 比重较小, 于是聚集上浮, 造成偏析。氢氧等有害气体夹杂, 在钢液中的溶解度大, 而冷凝时溶解度下降, 则发生析出扩散现象, 也会造成偏析。钢锭