

大型锻件材料及热处理

康大韬 叶国斌 主编

龍門書局

大型锻件材料及热处理

康大韜 叶国斌 主 编

龍 門 書 局

1998

内 容 简 介

本书汇集了我国在大型锻件及热处理方面数十年的实践经验与科研成果,以及国外有关的技术资料与数据,反映了目前国际、国内先进水平,是一本实用性强、参考价值高的著作。

本书可供从事热处理和锻压专业的技术人员阅读,也可作为大专院校相关专业师生的教学参考书。

大型锻件材料及热处理

康大韬 叶国斌 主编

责任编辑 杨 岭 王兴垣 郭惠娟

机 电 出 版 社

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

新世纪印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1998年4月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1998年4月第一次印刷 印张:40

印数:1-1 600 字数:919 000

ISBN 7-80111-141-9/TH·2

定价:75.00 元

编 委 会

主 编：康大韬 叶国斌

撰写人（按章排序）：

康大韬 叶国斌 王尔震

沈焕祥 廖 波 田永君

仲复欣 刘 庄 吴肇基

李范英 王明家 吕玉衡

李秀兰 许国祥 董春生

吴清可 杨慧心

主 审：王兴垣

序 一

机械工业是国民经济的支柱产业,重型机械设备历来是机械工业的命脉。大型火力、水力和核动力发电设备,大型轧钢机械,大型船舶、舰艇,大型化工容器,重型火力武器中的轴、辊、管、筒、封头等都需要大量的优质合金钢材。这些材料要通过精心的冶炼、浇注,先进的锻造技术以及合理的热处理才能保证其优良的力学性能和足够的使用寿命。

重型机械设备的大锻件质量要求高,冶炼加工制造难度大,要求有先进的制造技术,可靠性高的生产设备,只有经验丰富的设计、生产技术人员才能制造出优质、成品率高的锻件。倘若疏忽就会出现大的纰漏。小则造成优质材料和锻件成品的报废,大则是其成品制件在安装使用时在运行中出现严重的伤亡和停电事故。过去曾有过惨痛的教训。

建国以来,通过几代人的努力,我国至今已具备了大型锻件的生产能力和高的制造水平,重型机器厂设备不断更新完善,绝大部分锻件都能自行冶炼、加工制造和热处理,摆脱了过去曾依赖进口的局面,基本上满足了国民经济发展的需要。与此同时,我国还培养锤炼出一支知识全面、经验丰富、责任感强的技术人员队伍,使得我国大锻件的生产不断发展,并取得当今如此瞩目的成就。但是,时光易逝,五、六十年代建设时期锤炼出来的一批优秀人才行将退离工作岗位,而由于众所周知的原因,大锻件制造的人才也存在严重的断层现象。如此,把生产、科研、教学界的这一批专家掌握的先进技术和丰富经验很好地加以总结,供后来人学习参考,克服人才断层的隐患是十分重要的一件事情。更何况当前科学技术发展日新月异,把大锻件材料和热处理的最新科技成就、国际上成熟的新材料和热处理技术加以消化吸收,并推荐应用也是十分必要的。

康大韬教授从50年代中期即投入大锻件材料和热处理理论与生产技术的研究开发,并在教育岗位上培育出一代又一代的优秀人才。在他领导下,一个优秀科技专家集体多年来一直和重机行业紧密合作,密切结合生产实际,解决了大锻件生产中的一系列关键问题,掌握和推广了一系列新材料和先进制造技术,积累了丰富的经验,做出了显著的成绩。叶国斌总锻冶师是第一重机厂的高级工程师,曾担任过多年的厂锻冶处长,在大锻件生产中具有丰富的实践经验。在他领导下的生产技术人员和操作工人队伍,为我国大锻件生产技术水平 and 质量的不断提高作出了贡献。参加《大型锻件材料及热处理》一书编写的清华大学、洛阳矿山机器厂、机械科学研究院的各位专家都是国内知名学者,在材料科学及其应用的学术上和实践上都有很深的造诣。

《大型锻件材料及热处理》一书共分十二章,约100万字,内容包罗了对大锻件质量和性能的要求,生产技术特点,国内外状况和发展趋势,冶金因素的影响,氢在锻件中的行为,锻后预备热处理和最终热处理,加热和冷却过程中的温度场、应力场变化,电站设备、冷轧辊、压力容器等典型大锻件材料及热处理工艺、质量检验,缺陷分析,以及大锻件用钢的断裂韧性及其作用、测定方法和实际应用等。该书对大锻件材料和热处理生产的关键问题作了综合论述,对生产过程要点作了详尽的提示,对影响锻件质量的因素作了全面分析,提出了相应的改善措施。

总之,这本书是作者们经过 4~5 年长期筹划和认真书写的心血结晶。相信该书的问世必将对我国大锻件生产技术和产品质量水平的提高,以及材料科学和热处理技术的进步产生大的推动作用。

原中国热处理学会理事长 樊东黎

1996. 3. 15

序 二

——向大家推荐一本好书

很多人都读过东北重型机械学院、第一重型机器厂编写的《大锻件热处理》，那是1974年出版的，是一本系统介绍大锻件热处理的好书。从那以后又过了20年了，在大锻件材料和热处理方面又有了很多发展和进步，在原来《大锻件热处理》的基础上，由燕山大学（原东北重型机械学院）、第一重型机器厂加上清华大学、机械工业部机械研究院等单位的17名教授、专家，根据他们这些年来积累的经验，国内外新发展的理论和实践，写成了新的《大型锻件材料及热处理》。

作者们都长期从事大锻件材料和热处理生产技术的科学研究，有丰富的实践经验和科研成果。写成这本书，是他们心血的结晶，也是他们留给后人的宝贵财富。我们感谢他们对我国大型铸锻件行业的发展所作的贡献，同时也希望有关单位和个人踊跃订购这本书，这对大型锻件生产工艺的改进和发展，以及从事这方面工作的同志的业务进步，定能起到应有的指导作用。

大型铸锻件行业协会名誉理事长 庄大象
机械工业部重大装备司总工程师 傅树利
中国重型机械协会副理事长

1996.1.18

作 者 前 言

大型锻件作为大型成套装备的核心零部件,在国民经济建设、国防装备发展和现代尖端科学重大装置的建立中,发挥着至为重要的关键作用。其生产能力、产品级别与性能质量水平已成为一个国家自立、自主能力与国力强弱水平的重要标志。

我国大型锻件的生产事业创建于 50 年代中期,经过 60 年代初期、70 年代后期和整个 80 年代的建设与发展和将近三代人的努力,至今已具有了较大规模、比较高的生产能力与生产技术水平,基本上满足了国民经济发展与国防工业建设的需要。但是,与世界先进水平相比,国产大型锻件无论是在产品等级、工艺水平、性能质量、以及生产能力方面,仍然还有一定差距。为了实现建成社会主义强国这个举国一致、万民同心的伟大宏愿,在大型锻件的研究、开发、生产与创新的事业中,要作的事情还有许多,许多。

日月如梭,韶光易逝,转瞬之间那些在 50~60 年代刚刚学成即投身于重型机械事业,为大型锻件的生产与研究奋斗终生的一代人就要退休了。这些人完成任务多、实践经历多、经验体会多、手中、脑中积累和掌握的数据资料也丰富。这些东西都是国家和人民用金钱、血汗、乃至生命换来的,是我国大型锻件生产事业向世界先进水平发展所必需的 and 最为宝贵的财富。应当让他们总结出来,形成材料,留于后人,让年青一代踏着他们的肩膀前进。正是本着这种思想,我们组织和完成了《大型锻件材料及热处理》的编写、出版工作。

参加本书编写工作的同志为:

主编:康大韬 燕山大学教授,曾五次获得国家级及部、省级科技进步奖、科研成果奖。编写第一、三、四章及第六章的十一节。

主编:叶国斌 第一重型机器厂总锻冶师、高工,曾获机械部科技进步特等奖。编写第九章。

各章作者:

王尔震 第一重型机器厂高工,曾获国家级及部级科技进步奖两项。编写第二章。

沈焕祥 燕山大学教授,曾获部级科技进步奖一项。编写第五章。

廖 波 燕山大学教授、博士、部级科技专家,曾获部级科技进步奖二等奖。参加编写第三章。

田永君 燕山大学教授、博士、部级青年科技专家,曾获部、省级科技进步奖三项。编写第十二章,参加编写第四章。

仲复欣 教授级高工,原洛矿热处理分厂厂长,曾获部级科技进步奖两项。编写第六章。

刘 庄 清华大学教授、博士生导师,曾获北京市及清华大学科研成果奖多项。编写第七章。

吴肇基 清华大学副教授。参加编写第七章。

李范英 第一重型机器厂高工,曾获部级科技进步二等奖。编写第八章。

王明家 第一重型机器厂高工、硕士。参加编写第九章。

吕玉衡 第一重型机器厂高工,曾获部级科技进步二等奖。编写第十章。

李秀兰 第一重型机器厂高工;许国祥 第一重型机器厂高工,副总锻冶师;董春生 第一重型机器厂高工。共同编写第十一章。

吴清可 机械部研究总院教授级高工,国家级可靠性分析专家,曾获多项国家级与部级科技进步奖。参加编写第十二章。

杨慧心 燕山大学副教授,曾获国家及部级科技进步奖三项。参加编写第一、三、四章。

各章作者都是所写内容的权威性专家和重要科研成果的获奖人。遴选这些同志集体编写,目的在于提高本书内容的准确性、先进性与权威性。用心虽然良苦,实际效果如何,还待读者评价。主编者认为,纰漏与不当之处,必然存在,恳请读者给予指正,以便再版时及时修改。

在本书的编写中,得到了机械部重大装备司傅树利总工程师、大型铸锻件行业协会庄大象名誉理事长、原中国热处理学会理事长樊东黎和燕山大学、一重集团公司各级领导同志们的鼓励与大力帮助,作者们深表感激之情。机械工业出版社原主任编辑王兴垣高工,对本书的立项、编写与出版工作给予了始终如一的支持和多方面的热情帮助,并担任了本书的主审工作,作者们对他致以诚挚的感谢和崇高的敬意。

目 录

第一章 总 论	1	参考文献	89
一、大型锻件及其主要应用方向	1	第三章 大型锻件中的氢与氢损伤	92
二、大型锻件的主要特点	1	第一节 大型锻件中氢的来源与大致含量	92
三、工业发达国家大型锻件的生产、技术水平	2	一、大型锻件中氢的来源	92
四、我国大型锻件的生产、技术现状	6	二、大型锻件中氢的大致含量	93
五、发展动向及有待解决的主要问题	8	第二节 氢在钢中的溶解度、存在状态与基本性质	94
参考文献	9	一、氢在钢中的溶解度	94
第二章 冶金因素对大型锻件质量的影响	11	二、氢在钢中的存在状态	95
第一节 冶炼工艺对大型锻件质量的影响	11	三、氢在钢中的扩散与扩散系数	96
一、大型锻件用钢的冶炼方法	12	第三节 氢对钢的性能的影响	98
二、钢中的非金属夹杂物	34	一、氢对钢的拉深性能的影响	98
三、钢中的气体	41	二、氢对钢的冲击韧性的影响	104
第二节 钢液真空处理对大型锻件质量的影响	43	三、氢对钢的物理性能的影响	104
一、真空处理工艺方法及其效果	43	第四节 钢中白点	106
二、真空吹氩浇注	44	一、白点的形貌特征与影响因素	106
三、两次真空处理	46	二、白点的形成机理	109
第三节 铸锭工艺对大型锻件质量的影响	48	三、钢的无白点极限氢含量	110
一、铸锭工艺概述	48	四、白点的预防与锻合	112
二、大型钢锭的性状	50	第五节 钢的氢脆与滞后断裂	114
三、钢锭的偏析	51	一、氢脆及其基本分类	114
四、大型钢锭中的非金属夹杂物	64	二、钢的滞后断裂	115
五、大型钢锭中的气体和缩孔	65	三、氢脆机理	117
第四节 锻造工艺对大型锻件质量的影响	67	四、氢脆的度量与钢的无氢脆极限氢含量	118
一、锻造工艺概述	67	第六节 其他形式的氢脆	123
二、大型锻件的特殊锻造法	73	一、室温下高压氢造成的氢脆	123
三、锻比的有关问题	77	二、钢的高温氢腐蚀	123
四、锻造效果对内部疏松、空洞、锻合的影响	79	三、钢的应力腐蚀	127
五、锻造对锻件力学性能的影响	84	参考文献	129
六、锻造过程中出现的缺陷及其产生原因	87	第四章 大型锻件的锻后热处理	131
		第一节 锻后热处理的目的与作用	131
		第二节 大型锻件扩氢计算的理论与计算方法	131
		一、大型锻件扩氢计算的理论基础	131
		二、计算实例与解剖验证	135

三、计算用表·····	137	却计算·····	226
第三节 大型锻件用钢的组织遗传与晶粒 细化·····	139	二、大型锻件沿截面组织分布的计算 ·····	237
一、大型锻件的晶粒细化问题·····	139	参考文献·····	239
二、高淬透性钢的组织遗传·····	140	第六章 大型锻件的表面热处理与化 学热处理·····	240
三、钢的组织遗传的影响因素·····	143	第一节 大型锻件的感应加热表面淬火·····	240
四、高淬透性钢大型锻件晶粒细化工艺 举例·····	146	一、感应加热表面淬火的特点·····	240
第四节 大型锻件的锻后热处理工艺·····	150	二、感应加热表面淬火的工艺方法·····	242
一、大型锻件锻后热处理工艺的制订原则 与基本工艺参数·····	150	三、在大型锻件上应用感应加热表面淬 火经常出现的疵病·····	250
二、大型锻件锻后热处理的基本工艺类型 与典型工艺曲线·····	153	四、感应加热设备·····	251
三、大型锻件锻后热处理的一种高效扩氢 新工艺·····	160	五、感应器·····	252
四、26Cr2Ni4MoV 钢大型转子锻件晶粒 细化工艺的新进展·····	163	六、导磁体·····	253
参考文献·····	164	七、工频淬火·····	253
第五章 大型锻件的产品热处理(第二 热处理)·····	166	八、双频淬火·····	255
第一节 大型锻件的加热·····	166	第二节 火焰加热表面淬火·····	257
一、大锻件产品热处理规范·····	166	一、火焰淬火在大型锻件上的应用·····	257
二、加热方式·····	166	二、加热方法·····	257
三、阶梯加热·····	168	三、设备和喷嘴枪的设计制造·····	257
四、大型锻件的快速加热·····	172	四、工艺要点和经常发生的疵病·····	259
五、加热中的氧化及保护·····	174	五、实例·····	260
第二节 大型锻件的冷却·····	176	第三节 表面淬火后的回火·····	260
一、大型锻件冷却组织对性能的影响·····	176	第四节 大型锻件表面淬火后的质量检验 ·····	262
二、连续冷却转变曲线(CCT 图)概述·····	176	一、硬度检查·····	262
三、大型锻件的冷却·····	183	二、淬硬层分布状况和淬硬层深度·····	262
四、冷却参数的确定·····	193	三、外观检查·····	264
五、大型锻件的淬火及正火·····	203	四、金相检查·····	264
第三节 大型锻件的回火·····	205	第五节 大型锻件化学热处理的种类及其 选择·····	264
一、回火时的组织转变·····	206	第六节 大型工件的气体渗碳与涂覆渗碳 ·····	265
二、回火过程中内应力的消除·····	208	一、渗碳基本原理·····	265
三、回火工艺·····	209	二、气体渗碳设备·····	268
第四节 大型锻件中的热处理应力与断裂 ·····	218	三、气体渗碳的渗碳剂·····	271
一、热处理时的基本内应力·····	218	四、大型锻件渗碳质量的要求·····	273
二、热处理时工件的断裂·····	224	五、渗碳用钢·····	279
第五节 大型锻件热处理工艺主要参数的 计算·····	225	六、滴注式井式炉渗碳工艺及深层渗碳 ·····	280
一、周围介质温度恒定时的加热与冷		七、渗碳过程的控制·····	286
		八、大型锻件渗碳后的球化、淬火和回火 ·····	288

九、大型齿轮、齿轮轴渗碳淬火回火后的 变形及其控制措施	290	七、应力场计算框图	349
十、大型锻件渗碳质量检验标准及验收方法	292	第五节 具体算例	351
十一、大型工件的涂覆渗碳	294	一、300MW 低压转子的淬火	351
第七节 大锻件的碳氮共渗	295	二、大型支承辊差温热处理的淬火过程	359
一、碳氮共渗的特点	295	参考文献	364
二、碳氮共渗的原理、工艺和设备	296	第八章 重要电站锻件用钢及其热处理	365
三、大型锻件碳氮共渗的质量、渗层缺陷 及检测方法	298	第一节 概述	365
第八节 大型锻件的渗氮	300	一、电站锻件的分类	365
一、大型锻件渗氮的特点	300	二、工况及要求	365
二、渗氮设备和渗氮工艺	300	三、锻件在机组中的位置和作用	366
三、渗氮用钢	304	第二节 发电机转子和汽轮机低压转子的 材料及热处理	368
四、深层渗氮和沉淀硬化渗氮钢	304	一、力学性能要求	368
五、大型锻件渗氮实例	304	二、脆性转变温度与组织、断裂韧性的 关系	377
参考文献	306	三、发电机转子和汽轮机低压转子用钢 及其合金化原理	381
第七章 大型锻件热处理过程中温度 场、应力场的模拟计算	307	四、发电机转子、汽轮机低压转子的预备 热处理	385
第一节 概述	307	五、发电机转子、汽轮机低压转子的调质 处理	392
一、意义	307	第三节 汽轮机高、中压转子的材料热处理	404
二、模拟方法	309	一、汽轮机高、中压转子和主轴的力学性 能要求	404
三、目前达到的水平及有待深入研究的问题	309	二、高温性能与组织的关系	405
第二节 温度场计算	310	三、汽轮机高、中压转子用钢及其合金化 原理	408
一、控制方程	310	四、汽轮机高中压转子的预备热处理	418
二、温度场变分方程的推导	311	五、汽轮机高中压转子的性能热处理	421
三、单元的划分和温度场的离散化	313	六、消除应力处理	427
四、单元的变分计算	314	第四节 叶轮、护环及环件的热处理	427
五、总体合成	317	一、叶轮用钢及其热处理	427
六、时间的离散	319	二、护环用钢及其热处理	428
七、温度场计算中几个问题的处理	319	三、环件用钢及其热处理	434
八、温度场计算程序框图	323	第五节 水轮机大轴及镜板的热处理	436
第三节 组织场的计算	324	一、水轮机大轴、主轴用钢及热处理	436
一、利用 T. T. T 曲线计算组织场	324	二、镜板用钢及其热处理	437
二、利用 CCT 曲线计算组织场	327	第六节 电站锻件热处理的发展趋势	437
第四节 应力场的计算	332	一、激冷、深冷热处理	437
一、轴对称弹性问题的基本方程	332	二、超临界转子材料及热处理	438
二、空间离散和单元位移场的离散	333		
三、弹性问题的泛函及变分	333		
四、热弹性问题	336		
五、热弹塑性问题	337		
六、应力场计算中几个问题的处理	345		

三、单轴转子及其分区热处理	440
四、超纯净转子及其热处理	444
参考文献	447
第九章 锻造轧辊材料及其热处理	448
第一节 概述	448
一、轧辊使用性能	448
二、锻造轧辊材质的特点	448
三、锻造轧辊热处理特点	449
第二节 初轧辊材料及热处理	450
一、初轧辊性能要求	450
二、初轧辊材料	451
三、锻后热处理	451
四、初轧辊的最终热处理	452
五、初轧辊的选材问题	453
第三节 锻钢支承辊材料及其热处理	454
一、使用条件及技术要求	454
二、支承辊用钢	456
三、锻后热处理	458
四、预备热处理	460
五、最终热处理	460
第四节 冷轧工作辊材料及其热处理	464
一、使用性能要求	465
二、冷轧工作辊材质	465
三、冷轧工作辊的预备热处理	469
四、最终热处理	471
第五节 锻造半钢和锻造白口铁系列轧辊材料及其热处理	484
一、锻造半钢和锻造白口铁轧辊的材质	484
二、锻后热处理	486
三、最终热处理	487
四、应用实例	488
参考文献	489
第十章 大型筒体与封头锻件用钢及其热处理	491
第一节 概述	491
一、压力容器壳体的基本结构形式	491
二、压力容器的分类	491
第二节 大型压力容器壳体材料	492
一、低合金高强度钢	492
二、低温用钢	495
三、高温抗氢用钢	496

四、核反应堆压力容器大型锻件用钢 ...	502
五、超高压容器用钢	506
第三节 大型筒体和封头的热处理	507
一、预备热处理	507
二、性能热处理	508
三、热处理设备	511
参考文献	512
第十一章 大型锻件的质量检验与缺陷分析	513
第一节 概述	513
第二节 大型锻件的低倍检验	514
一、大型锻件低倍试片的制取与要求 ...	515
二、大型锻件的低倍检验	516
三、断口检验	530
第三节 大型锻件的高倍金相检验	537
一、金相试样的切取	538
二、高倍金相试样的制备	538
三、大型工件的无损高倍金相检验	541
四、大型锻件高倍金相的主要检验项目及方法	541
第四节 大型锻件缺陷与失效分析要点及案例	556
一、大型锻件缺陷及失效分析要点	557
二、大型锻件缺陷与失效分析案例	557
参考文献	563
第十二章 断裂韧性基本原理及其在大型锻件中的应用	564
第一节 断裂韧性基本原理	564
一、常规设计方法的不足	564
二、线弹性断裂力学基本原理	565
三、弹塑性断裂力学基本原理	576
四、冶金及工艺因素对钢的断裂韧性的影响	580
第二节 断裂韧性的测试方法	580
一、平面应变断裂韧性 K_{IC} 的测定方法	581
二、弹塑性断裂韧性 J_{IC} 的测定方法	588
三、裂纹扩展速率 da/dN 的测试方法	591
第三节 有缺陷工件的使用性能及安全裕度的计算	597

一、防止大型锻件结构脆性断裂的方法		二、疲劳裂纹扩展门槛值及其附近的裂	
—— K 准则	598	纹扩展速率	613
二、应用实例	598	三、C 区的裂纹扩展速率	613
三、防止大型锻件结构弹塑性断裂的方法		四、工件在交变载荷下的使用寿命	614
.....	604	五、应用实例	614
第四节 裂纹扩展速率与工件使用寿命的		参考文献	614
计算	612	附录	616
一、疲劳裂纹扩展速率	612		

第一章 总 论

一、大型锻件及其主要应用方向

我国重机行业规定,凡是需要 1000t 以上锻造水压机生产的自由锻件,可被称为大型锻件。按照自由锻水压机的锻造能力推算^[1],大致相当于:单重 5t 以上的轴类锻件和单重 $\approx 2t$ 以上的圆盘类锻件。

大型锻件是国民经济建设、国防工业和现代科学事业发展所必需的各种大型、关键设备、装置中的主要基础零部件,其生产能力与技术水平是衡量一个国家的重工业发展水平与重大、关键技术装备自给能力的主要标志之一。

大型锻件主要应用于以下方面:

1. 轧钢设备 工作辊、支承辊及大型传动零件等。
2. 锻压设备 模块、锤杆、锤头、活塞、立柱等。
3. 矿山设备 大型传动零件、大型提升装置零部件。
4. 火力发电设备 汽轮机与发电机转子、叶轮、护环、大型管板等。
5. 水力发电设备 水轮机大轴、主轴、镜板、压制成形大叶片等。
6. 核能发电设备 反应堆压力壳、蒸发器壳体、稳压器壳体、汽轮机与发电机转子等。
7. 石油、化工设备 石油加氢反应器与氨合成塔中的大型筒体、封头、管板等。
8. 船舶制造工业 大型曲轴、中间轴、舵杆等。
9. 军工产品制造 大型炮管、航空涡轮盘、高压筒体等。
10. 大型科研装置中的关键零部件。

二、大型锻件的主要特点

1. 尺寸大、重量大 大型锻件(large forging, крупный поковок)的最主要、最根本的特点是它的尺寸大和重量大。例如:我国近年来制造成功的 600MW 汽轮发电机转子锻件的尺寸为 $\phi 1280\text{mm} \times 16310\text{mm}$,单重 111.5t^[2];国外生产的 2200~2400MW 汽轮发电机转子锻件的尺寸为 $\phi 1808\text{mm} \times 16880\text{mm}$,单重 247t^[3]。

由于尺寸大和重量大,大型锻件必须由大型钢锭直接锻成。众所周知,大型钢锭中的偏析、疏松、缩孔、非金属夹杂物和各种组织不均匀性非常严重,气体含量也比较高,而且这些缺陷很难在随后的锻造过程中去除。所以,在大型锻件中往往存在着显著的化学成分不均匀性、多种多样的组织缺陷和过高的有害气体含量。从而使得大型锻件的热处理过程往往十分复杂、费时和昂贵。因而,必须小心翼翼地进行。

其次,由于尺寸大和重量大,工件的热容量必然很大,这就使得大型锻件在执行热处理工序时不可能得到比较大的加热速度和冷却速度。因此,对于性能、质量要求较高,必须通过调质或淬火使钢的内部组织发生重大改变的大型锻件,必须采用过冷奥氏体非常稳

定、淬透性很高的钢种,如: Ni-Cr-Mo、Ni-Mo-V、Ni-Cr-Mo-V 系钢等。但是,过冷奥氏体稳定性高的钢易于发生组织遗传(structure heredity, структурная наследственность),并进而造成合金钢大锻件中的晶粒粗大和大小不均。为了解决这个问题,往往需要采用特殊和比较复杂的热处理过程。

再者,尺寸大和重量大,必然使得大型工件在加热和冷却过程中产生巨大的表面与心部温差和组织转变的不同步性,并进而造成工件中的巨大内应力。在大型锻件中,巨大的压应力会对大型锻件内部组织转变产生阻碍作用,使其推迟或减少转变数量;巨大的拉应力会导致工件中的裂纹,甚至整体断裂。此外,在热处理过程结束之后,巨大的内应力会转化为永驻于大型工件内部的残余应力,其数值有时可高达数十或百余 MPa,并可与其他有害因素(如钢中的氢、大尺寸的非金属夹杂物、寒冷的气候等)结合,造成大型工件在储存或运送中发生断裂,称为置裂。当内应力的数值较小时,虽然不会导致断裂的发生,却会引起大型工件的尺寸、形状的不稳定,并将转化成为工件在正常工作时所承受载荷的一部分,使工件的有效承载能力降低。

此外,还有大型锻件在力学性能上的方向性,工件表层与心部组织、性能上的巨大差异等,也都是由于其尺寸大、重量大所引起的。

2. 生产环节多、前期工序的影响大 大型锻件的生产过程包括:炼钢、铸锭、锻造、热处理和粗加工等环节,不但工序多、周期长,而且每一环节的执行情况都会对大型锻件的性能、质量产生重大影响。所以,对于从事大型锻件热处理工作的人,必须全面、具体地了解每一大型锻件的前期工序的执行情况及其对热处理过程所造成的影响,有时甚至要根据前期工序的执行结果来修正(或安排)后继的热处理工艺。在热处理工艺的制订中,他人(包括前人和外国人)和自己通过多年的生产实践所得到的经验和积累下来的数据,是十分重要和宝贵的,应当充分利用和借鉴。但是,只作到这一点是不够的。还应当努力吸收当代科技成就中一切对我们有用和行之有效的东西,并尽量发挥大型锻件在成分设计、工艺设计和电子计算机模拟计算等方面的作用,以便在工艺过程开始之前便将在工艺执行中可能发生的问题逐一解决,以求最终获得一个性能、质量和使用寿命都好的大型锻件,并最大限度地发挥金属材料的潜力。

三、工业发达国家大型锻件的生产、技术水平

由于大型锻件的特殊性及其与国民经济发展的关系,世界主要工业发达国家的大型锻件生产能力与产品质量均已达到了相当高的水平。主要情况如表 1-1 与表 1-2 所示。

在大型锻件生产工厂中,水压机吨位是决定其产品等级与生产能力的关键标志,其次是冶炼能力与热处理能力。在世界工业发达国家及部分发展中国家,2000t 以上自由锻造水压机的分布情况和已锻造过的最大锻锭吨位,如表 1-3 所示。国外,大型电站锻件主要生产厂家的冶炼能力及热处理设备条件,如表 1-4 所示。

表 1-1 国外大型锻件产品的等级水平^[2-6]

产品名称	材 料	尺 寸 (mm)	锻件重 (t)	钢锭重 (t)
1100MW 汽轮发电机转子(四级)	Ni3.5MoV	φ1800×1400	215	500
2200MW 核电站汽轮发电机转子	Ni2.8CrMoV	φ1808×16880	247	500
2200MW 核电站汽轮机低压转子	Ni2.8CrMoV	φ2710×7770	158	400
1300MW 核电站压水堆压力容器接管发蓝	SA508Cl-3	φ5773/φ656×2550	149	500
1300MW 核电站沸水堆压力容器底环	SA508Cl-3	φ7375/φ6655×1875	119	400
700MW 核电站加压重水堆压力容器筒体发蓝	20MnMoNi55	φ8440/φ7380×2550	238	570
水电机组水轮机大轴	碳 钢	φ2686/φ1680×8942		
冷轧工作辊	MC3	φ820×2300	15	
5500 轧机整锻支承辊	1CrMo	φ2400×10850	244	500

表 1-2 国外大型锻件的生产技术水平^[2-6]

生产工序	生产技术状况	产品质量水平
冶炼	1. 大多采用大电炉冶炼加炉外精炼 2. 广泛采用电渣重熔技术, 努力减少钢锭中的夹杂物与成分偏析 3. 通过喷吹钙粉、硅钙粉及 Ar 气搅拌大量减少钢中夹杂物, 并使其变为圆球状 4. 广泛采用真空冶金技术, 将钢水中的有害气体含量大大降低。 5. 锻造用钢锭 100% 经真空处理, 对重要锻件用钢还要进行二次真空处理	1. 电站转子锻件: - S≤0.003% - P≤0.005% - H≤1.0ppm - FATT50%—40℃ - σ_{a2}、σ_s 的偏差值<4.2MPa - 产品合格率≈100% - 钢锭利用率≈60% 2. 大型冷轧工作辊: - 表面硬度>95HS - 淬硬层深>20mm - 表面硬度均匀性±1HS - 平均能耗 1~1.5kg/t 3. 大型支承辊: 表面硬度 65~75HS - 淬硬层深>100mm - 表面硬度均匀性±2HS 4. 半钢辊、锻铁辊、高铬辊的发展与应用 5. 硬齿面大型齿轮与齿轮轴: 硬化层深度 3~8mm - 表面硬度 56~62HRC - 已处理齿轮最大直径 φ3200mm - 已处理齿轮轴最大单件重量 40t, 尺寸为 φ1400×5500mm 硬齿面大型齿轮类工件的使用寿命 10~15 年
锻造	1. 广泛采用各种行之有效的特殊锻造方法, 如: JTS 法、FM 法、SUF 法 AVO 法等 2. 普遍使用大吨位锻压操作机 3. 在大型护环的生产中采用液压涨形和楔块扩孔等技术	
热处理	1. 对大型加热炉实行计算机程序控制, 自动化程度高炉温控制精度达到±1~2℃ 2. 加热设备的密封性好, 热效率高, 炉温均匀性好 3. 深层感应加热技术的广泛应用 4. 差温加热与喷雾淬火技术的广泛应用 5. 对大型重载齿轮类工件普遍采用深层渗碳与整体加热淬火强化处理	