

综 述

大型饼类锻件锻造工艺研究综述

倪利勇¹ 王傲冰²

(1. 广东海洋大学工程学院, 广东 524088; 2. 邢台职业技术学院机电系, 河北 054035)

摘要:综述了饼类锻件锻造工艺的发展。大型饼类锻件是重型装备的核心部件之一,需要在液压机上进行自由锻造,由于其高径比远远小于1,实际生产中,废品率高,生产难度大,最严重的便是层状裂纹问题。为了克服这一问题,人们对饼类锻件进行了解剖检验,提出了压窝成形法、锥形板墩粗法等各种锻造工艺。

关键词:饼类锻件;层状裂纹;大型锻件

中图分类号: TG316 **文献标识码:** A

The Research Summarize on the Forging Technology of Heavy Disk-shaped Forging

Ni Liyong, Wang aobing

Abstract: It summarizes the development of the forging technology of heavy disk-shaped forging. The heavy disk-shaped forging is one of the core components in the heavy duty equipments, which needs to be free-forged on hydraulic press. Due to the high diameter is far smaller than 1, and in the actual production, the waste products rate is high, the production process is hard, and the worst thing is the layer-like cracks. In order to overcome the problem, bisection test was conducted for the forgings. Various forging processes were presented such as indent forming and conic plate up-setting.

Key words: disk-shaped forging; layer-like crack; heavy forging

1 前言

大型饼类锻件是重型装备的核心部件之一,包括汽轮机锅炉用管板和叶轮、核反应堆压力壳平顶盖、热交换器管板、化工容器封头等,其中有的还带有盲孔。所用原材料都是钢锭。钢锭都有其固有缺陷,如偏析、夹杂、疏松、粗大的柱状晶等。为了减少这些铸造缺陷,一方面要提高冶炼水平,另一方面还要改进锻造水平,只有这样才能生产出优质的锻件。饼类锻件的生产流程一般为:大型热钢锭送到液压机车间,经一系列锻造工序锻造成锻件,经预备热处理后送到下工序进行机械加工和最终热处理。其常规锻造过程为:

钢锭 倒棱(拔长)、下料 平板墩粗(或平板墩粗+局部墩粗) 成品

它们的外形尺寸特征是高径比 H/D 远小于1。这类锻件都以墩粗为主锻制而成,要求质量很高,工艺不当时超声波探伤废品率高。在实际生产中,废品率高,生产难度大,反映最严重的便是层状裂纹问题。

由于多种因素的影响,大型锻件用的钢锭内

不可避免的存在着各种类型的夹杂物。对于外来夹杂物,解决问题的方法较为简单,可采取一切措施来防止它们进入钢中,这方面的理论研究和实际应用工作近年来进行的较多,进展很大。而对于内生夹杂物,问题就要复杂的多,因为它们是钢的组成部分,虽然其数量、大小、形状、分布和组成等都可以得到改善,但难以完全避免。在管板锻件的常用材料 20MnMo 中,最主要的非金属夹杂为硫化物(以 MnS 为代表)、铝酸盐类(以铝酸钙为代表)及少量的氧化物夹杂,并且热锻裂纹主要产生于硫化锰等塑性夹杂物附近。由于饼类锻件具有直径大、厚度相对较小,高径比远小于1的尺寸特征,在饼类锻件的锻造过程中,在不均匀变形的作用下,锻件心部的金属流动远较周围更加剧烈,更加容易产生裂纹。

2 饼类锻件的解剖检验

大型饼类锻件的加工手段主要是自由锻造。锻件除了成形要求以外,还要求同时打碎碳化物,锻合内部的疏松与孔洞,细化铸态组织而获得均质致密的优质锻件。要想达到此目的,所采用的锻造工艺应能保证锻件内部缺陷区域不出现拉应力。近年来,根据核电、石油、化工设备设计上的

收稿日期: 2007-05-22

基金项目: 广东海洋大学博士科研基金(0612165)

要求,锻件愈来愈大,锻造用钢锭也愈来愈大型化。为适应生产的需要,自 20 世纪 70 年代以来,国内外大锻件生产厂家不断研究开发了一些新的锻造方法。

饼类锻件锻造的目的主要是破碎铸态组织、消除先天性疏松、孔洞型冶金缺陷,同时不萌生新的裂纹源。钢锭内部不可避免地具有不同程度的内部疏松、孔洞与夹杂物,如何用有效的工艺去锻合内部这些缺陷,如何创造有利的力学条件,使之

在锻造过程中不出现新裂纹或夹杂性裂纹,一直是人们关心与研究的问题。

墩粗是饼类锻件最常采用的锻造方法,由于工具简单,适应性强,一直广泛采用。但直接墩粗法生产饼类锻件,往往会在锻件心部形成层状夹杂缺陷。研究人员对用直接墩粗法生产的平盖锻件进行了解剖检验^[1,2]。平盖锻件探伤检验情况见表 1,在锻件中心和 1/2 半径处套取棒料进行解剖,结果见表 2。

表 1 平盖锻件探伤检验结果
Table 1 The UT test result of flat cap forging

材质	原材料准备	钢锭重量 /t	锻件尺寸 /mm	探伤结果
20MnMo	电炉冶炼、大气浇铸、一锭一件	12	∅1670 ×325	中心 ∅1000 mm 的范围内有 ∅2 mm ~ ∅3 mm 的缺陷密集区,最大单个缺陷深 150 mm,距中心 200 mm

表 2 20MnMo 平盖解剖结果
Table 2 The Dissection test result of 20 MnMo plate (dish-shaped forging)

套料棒位置	中心	1/2 半径处
低倍	经酸浸蚀的低倍试片上,出现了大约 8~9 条裂纹,裂纹长约 1 mm~3 mm	与中心套料棒的结果相同,裂纹长约 1 mm~6 mm
断口	断口的大部分区域为结晶状断口,断口裂纹的微观形貌不具有白点断裂的微观形貌特征	断口为云片状
金相	基体组织为铁素体+珠光体。裂纹周围有大量夹杂物堆积	基体组织为铁素体+珠光体,成带状分布。裂纹呈断续状。裂纹尾部在缺陷(夹杂物)处较圆钝,在无缺陷处较尖锐

在该锻件中心 ∅1 000 mm 的缺陷范围内套取出两棒料,检验表明缺陷为横向裂纹。该裂纹不是白点,而是在金属薄弱处由激烈的剪切变形引起的,为夹杂性裂纹。中心部位试样断口大部分为结晶状断口,可见钢锭毛坯在墩粗前未经很好的预变形。

3 克服层状缺陷的锻造工艺

3.1 锥形板墩粗工艺

为了解释传统工艺的内在缺陷,刘助柏等学者提出了平板间墩粗圆柱体(高径比 $H/D > 1$)的拉应力理论^[3~9],形成了一系列大型锻件新理论与新工艺^[10~16],对饼类锻件提出了锥形板墩粗的新工艺及其力学原理^[17~18]。此工艺可用于电炉冶炼、真空浇注或大气浇注的钢锭。钢锭倒棱、预拔长下料,再经加热后用上下锥形板墩粗。这种工艺可保证内部为三向压缩应力状态,能迫使平板墩粗时出现的刚性区变形(高径比 $H/D > 1$),及消除($H/D < 1$)或降低($H/D \ll 1$)平板墩粗体内静水应力区的剪切变形强度,使整体变形均匀。这对锻合毛坯内部的空洞缺陷、改善毛坯内部金属的组织与性能、防止内部新缺陷(裂纹或夹杂性裂纹)的产生具有良好的效果。

3.2 控制夹杂性裂纹的锻造工艺

曹起骧、韩静涛等学者也提出了控制夹杂性裂纹的锻造工艺方法^[19~21]。在模拟研究的基础上,运用已有的研究结论,分别给出了:一锭一件锻造大型及特大型饼类锻件、一锭多件锻造大中型饼类锻件、近方形模块锻件和板形模块锻件这四种以控制夹杂性裂纹等缺陷为特色的锻造工艺。这种工艺方法的目的,就是在锻件成形的过程中,除锻件外部尺寸精度达到要求外,还要对锻件内部质量进行同步控制。在大型饼类锻件的工艺制订中,除按常规锻造工艺确定部分工艺参数外,还应遵循一定的准则。

(1)控制预墩粗变形量

用普通钢锭生产管板锻件时,无论孔洞和疏松的压实靠拔长操作还是靠墩粗操作来实现,对钢锭进行预墩粗都是不可避免的。模拟研究的结果表明,高径比 H/D 在 0.6~2.0 之间的钢锭,内部微夹杂性裂纹开始聚合的墩粗变形量为 50%。考虑到后续变形对锻件心部夹杂延展的进一步作用,钢锭的预墩粗变形量应控制在 40% 左右为宜。如需要进一步减少锻件的高度,可采用旋转进砧压下来实现。

(2)保证压实所需的变形工艺参数

普通钢锭生产饼类锻件时,由于镦粗比大,一般钢锭内部的孔洞、疏松等缺陷都有可能在成形的过程中被压实。但若钢锭重量大而压机吨位小,或成品锻件较厚,则有可能出现无法达到压实要求的情况。因此,采用 FM 法锻造时,应满足砧宽比大于 0.6,单面压下量大于 15% 的要求。

(3) 控制终锻火次及变形量

为修复前步锻造工艺中可能产生的、探伤可见的夹杂性裂纹,要求在普通锻造工艺中增加对终锻火次和变形量的控制要求。由于锻件内部未完全被夹杂物分隔的裂纹在一定的条件下是可以修复的,故可将半成品锻件返炉后,在高温下保温,使锻件内部裂纹处的孔洞被充分填充,然后按压实所需的变形量进行终锻变形及整形,压实内部仍存在的显微孔洞并达到对锻件的尺寸要求。对终锻火次进行控制的另一目的是利用锻件的高温停锻效应,以保证锻件内部晶粒尺寸的均匀一致,避免混晶现象的发生。晶粒尺寸的大小可以通过后续热处理进行调节,但混晶是难于改变的。

3.3 压窝成形法

任猛等学者提出了压窝成形法^[22~24]。该锻造法所用工具仍然是上平砧、下转台和实心冲头。压窝所用的工具极其简单。它是一件几乎在任何水压机工作现场都能找到的冲防(塞有余料的空心冲子),只要其直径尺寸适合于选择范围就可以使用。该锻造法先在饼形锻件毛坯中心压出一个窝,然后旋转压平,翻转到另一面,再压窝,然后再旋转压平,出成品。

4 结论与讨论

尽管饼类锻件的研究取得了较大进展,但是迄今为止仍然是生产上的一个难点,需要人们进一步努力克服。“压窝锻造法”与“锥形板镦粗法”的共同点在于首先产生心部变形而后平整局部,而“控制夹杂性裂纹的锻造工艺方法”主要在于避免内部微夹杂性裂纹的聚合。从某种意义上说,上述各种方法的目的都在于避免心部的剪切应力与剪切应变导致层状裂纹萌生和扩展。

参考文献

- [1] 时惠英,张兰湘. 饼类锻件探伤缺陷解剖分析. 热加工工艺, 1994, (4): 43 - 45.
- [2] 李纬民,刘国晖,刘助柏,等. 饼类锻件锻造的关键技术. 钢铁, 1998, 33(11): 43 - 45.
- [3] Liu Zhubai, Wang Liandong, Liang Chen, et al. Advance of the upsetting technology theory and technique in a hydraulic press. The Second World Conference on Integrated Design &

Process Technology, TEXAS, USA, December 1 - 4, 1996.

- [4] 刘助柏. 塑性成形新技术及其力学原理. 北京:机械工业出版社, 1993: 1 - 77.
- [5] Liu Zhubai, Wang Liandong, Guan Yingping, et al. Two new mechanical models for upsetting a square body in free forging hydraulic presses. 1st China International Metal forming Conference, Beijing, 1995. Publisher China Forging Industry Association, 1995: 98 - 105.
- [6] Liu Zhubai, Wang Liandong, Liu Guohui, et al. Physical simulation of tension stress theory of a rigid-plastic mechanical model for upsetting a circular cylinder. Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition), 1993, 6(2): 102 - 105.
- [7] 张庆,梁辰,王连东,等. 圆柱体在普通平板间镦粗时应力场的数值模拟. 机械工程学报, 1997, 33(2): 72 - 76.
- [8] 王连东,刘助柏. 圆柱体 ($H/D > 1$) 在普通平板间镦粗内部应力场计算的力学分块法. 塑性工程学报, 1994, 1(3): 20 - 28.
- [9] 刘助柏,倪利勇,梁晨,等. 普通平板镦粗高圆柱体的拉应力理论的模拟. 中国机械工程, 2005, 16(1): 74 - 77.
- [10] Liu Zhubai, Li Weinan, Deng Dongmei, et al. Key forging techniques of heavy forgings. The 14th International Forgemasters Meeting, German Wiesbaden, 2000: 43 - 46.
- [11] 刘助柏. 大型锻件锻造理论与工艺研究成果. 中国科学基金, 1998, 12(3): 192 - 194.
- [12] 刘助柏,张庆,王连东,等. 锻造理论与工艺的进展. 燕山大学学报, 2000, 24(4): 294 - 301.
- [13] 刘助柏,王连东,刘国晖,等. 塑性工程力学镦粗和拔长理论与技术的进展. 自然科学进展, 1998, 8(6): 648 - 656.
- [14] 刘助柏,倪利勇,单锐,等. 大锻件形变新理论新工艺及关键技术研究的回顾与展望. 大型铸锻件, 2003, (3): 48 - 52.
- [15] 高士友,韩伟,张立玲,等. 大型模块锻件锻造的关键技术. 钢铁, 1999, 34(7): 28 - 30.
- [16] 张涛,刘助柏,任运来. 汽轮机低压转子锻件锻造的关键技术. 机械工程学报, 1998, 34(4): 74 - 76.
- [17] 刘助柏,王连东. 用锥形板镦粗的新工艺及其力学原理. 机械工程学报, 1994, 30(4): 83 - 85.
- [18] 邓冬梅,刘助柏,倪利勇. 锥形板镦粗新工艺的数值模拟. 锻压技术, 2005, 30(3): 12 - 13, 29.
- [19] 韩静涛,陈志平,李锦科,等. 有效控制夹杂性裂纹的大型锻件锻造及处理方法. 塑性工程学报, 1996, 3(1): 20 - 26.
- [20] 马庆贤,曹起骧,谢冰. 大型饼类锻件变形规律及夹杂性裂纹产生过程研究. 塑性工程学报, 1994, 1(3): 42 - 46.
- [21] 马庆贤,曹起骧,谢冰. 大型饼类锻件变形规律及夹杂性裂纹产生过程研究(续). 塑性工程学报, 1994, 1(4): 25 - 32.
- [22] Wang Zutang, Ren Meng. Researches on the mechanism of consolidating big steel ingots and optimization of forming procedure of large. In: 12th International Forgemasters Meeting, Chicago, Sep. 11 - 17, 1994, Session 10.
- [23] 任猛,张宝印,金锡钢,等. 大型圆饼类锻件锻造及 RST 效应. 大型铸锻件, 1991, (4): 5 - 16.
- [24] 任猛,张宝印. RST 效应. 锻压技术, 1991, (3): 5 - 10.

责任编辑 龙礼建