

负电子对撞机和北京谱仪及其附属系统的长期稳定运行。该项研究涉及高能加速器、粒子探测器、粒子物理实验和理论、核电子学、计算机技术和网络通讯、计算物理、数据分析等广泛的学科领域。通过本项目的实施，建立了一支中国高能实验物理队伍、积累了各方面的经验，培养了一批高能实验物理及相关领域的年轻人才。仅高能物理实验本身而言，4年共培养中国博士生15名、硕士生21名，美国博士生8名。BES  $\tau$  轻子和粲物理研究的成就引起了国内外高能物理界的普遍重视和关注，导致了与国内外理论界和实验界的密切合作。到1996年，BES合作组发展成为由中国的7个和美国的10个研究所、大学组成的国际合作组。正如评审专家组“验收意见”所指出的，本项目“在培养高能物理实验人才方面，在促进中美高能物理合作研究及扩大中外学术交流方面发挥了积极作用。”

本项目中的子课题“北京谱仪—— $\tau$ 轻子质量的精确测量”获得了1995年国家自然科学奖二等奖，1994年中国科学院自然科学奖一等奖和1993年吴有训物理奖；子课题“ $D_s$ 物理的研究”被评为1997年中国科学院自然科学奖一等奖。

## THE INVESTIGATION ON TAU-CHARM PHYSICS IN $e^+e^-$ COLLIDER

Zhu Yongsheng

(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039)

**Key words** Tau-Charm physics, Beijing Electron-Positron Collider (BEPC), Beijing Spectrometer (BES)

·成果简介·

## 大型锻件锻造理论与工艺研究成果

刘助柏

(燕山大学机械工程学院, 秦皇岛 066004)

[关键词] 平板镦粗, 平砧拔长, 新锻造工艺, 控制锻造

现行的锻造工艺理论存在着某些不足甚至错误, 例如: (1) 认为普通平板间镦粗的变形体内总处于三向压缩应力状态, 这与我们所做的试验结果不符; (2) 对平砧拔长与 FM (Free from Mannesmann effect) 锻造法, 只有一个工艺参数来控制轴向应力, 而忽略了横向应

国家自然科学基金重点项目, 批准号 59235100.

本文于 1997 年 8 月 4 日收到.

力问题; (3) 现行理论不能解释饼类锻件与宽板锻件形成内裂缺陷的机理; (4) 过去的研究未用控制锻造技术来控制大型锻件内部的晶粒质量; (5) 常规锻造对大型轴类锻件力学性能异向性的弊病无能为力; (6) 现用的滑移线法只限于求解平面变形问题, 等等。

大型锻件锻造理论与技术方面的研究是国家自然科学基金“八五”重点项目“大型铸、锻件的模拟技术及质量控制研究”的一个子课题。在研究中, 我们纠正了现行锻造工艺的不足并完善了理论, 取得了以下成果:

## 1 锻粗理论与工艺的新进展<sup>[1]</sup>

对普通平板间锻粗圆柱体, 提出了高径比  $H/D > 1$  时的刚塑性力学模型的拉应力理论和高径比  $H/D < 1$  时的静水应力力学模型的剪应力理论<sup>[2]</sup>, 前者打破了传统工程塑性力学中所阐述的锻粗体内部总处于三向压应力的理论与观念, 后者圆满地解释了大型饼类锻件中常出现的“夹馅饼”缺陷问题。平板间锻粗圆柱体的新理论已被物理模拟和数值模拟<sup>[3,4]</sup>、广义滑移线解<sup>[5]</sup>、力学分块法<sup>[6]</sup>和生产解剖试验所证实。在此基础上, 进一步提出了方柱体锻粗的两个新力学模型<sup>[7,8]</sup>和锥形板锻粗的新工艺及其力学原理<sup>[9]</sup>。此外, 还对平板间锻粗矩形截面毛坯进行了试验研究, 对带钳把圆柱体在平板-漏盘间、凹入球面板-漏盘间、锥形板-漏盘间的锻粗建立了刚塑性力学模型, 并进行了大量的试验研究, 纠正了过去认为凹入球面板锻粗有利于缺陷焊合的错误结论。

## 2 拔长理论与工艺新进展

对平砧拔长, 论证了只有砧宽比  $W/H$  一个工艺参数的不足, 而应再补充一个工艺参数——料宽比  $B/H$ , 才能正确描述拔长毛坯中心区域的应力状态与控制锻件内部质量<sup>[10,11]</sup>。在此基础上, 进一步进行了拔长工艺参数量值的合理匹配与确定<sup>[12]</sup>, 开拓了无横向拉应力锻造法<sup>[13]</sup>、小锻比锻造法和新 FM 锻造法<sup>[14]</sup>, 并对方形截面倒棱和 FM 上下 V 型砧锻造进行了试验研究。

新 FM 法是指能控制毛坯变形区中心既不出现轴向拉应力又不出现横向拉应力, 上用平砧、下用大平台的锻造法, 其实质是增加了  $B/H$  的控制。该法在陕西重型机器厂被应用于模块生产, 产品的超声探伤合格率有了很大提高。但对宽板锻件的最后成形来说, 无法将  $B/H$  控制在不出现横向拉应力的范围内, 只有改变边界条件, 才能实现宽板锻件最后成形时(窄边竖直的情况)的无拉应力锻造。应用我们提出的一种新型工具——纵向锥面砧, 不需控制  $B/H$ , 亦可达到无横向拉应力锻造。

为了提高大型轴类锻件的横向力学性能, 提出了改变纤维流向的新构思, 设计了结构新颖的水平 V 型锥面砧锻造工艺。生产试验证明, 该工艺具有特殊的功能, 可使锻件相同部位的力学性能的不均匀性比采用常规拔长工艺锻造的锻件降低 5%—50%。

## 3 新控制锻造法

用形变方法对低压转子钢 26Cr2Ni4MoV 的混晶问题进行了系统研究: 应用热扭转的模拟实验, 探讨了该钢种动态与静态再结晶的规律; 通过形变与未形变的对比试验, 发现了该钢种形变与奥氏体自发再结晶之间的特殊关系; 根据模拟试验结果, 提出了高温停锻、低温停

锻、大锻件形变热处理3种工艺方案。以上研究为实现低压转子钢的控制锻造提供了理论依据;量化了Mn18Cr18N护环钢控制锻造的工艺参数。

低压转子钢的控制锻造研究作为“30万和60万千瓦发电机、汽轮机低压转子工艺完善化研究”的项目内容,在中国第一重型机械集团公司应用,取得了良好的经济效益。该项目已通过部级鉴定,达到国际水平。

#### 4 其他

正在申报发明专利一项。在国内外共发表学术论文22篇,专著1本。研究过程中培养和成长了一批青年学术骨干。

#### 参 考 文 献

- [1] Liu Zhubai, Wang Liandong, Liang Chen et al. Advance of the Upsetting Technologies Theory and Technique in a Hydraulic Press. The Second World Conference on Integrated Design & Process Technology, AUSTIN, TEXAS, USA, December 1-4, 1996.
- [2] Liu Zubai, Nie Shaomin, Wang Liandong et al. A New Theory for Upsetting a Cylinder Between Flat Platens. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 1992, 5 (4): 297-303.
- [3] Liu Zubai, Wang Liandong, Liu Guohui et al. The Physical Simulation on the Tension Stress Theory of a Rigid-Plastic Mechanical Model for Upsetting a Cylinder. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 1993, 6 (2): 102-105.
- [4] 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.
- [5] Wang Liandong, Liu Zhubai. The Solution of Generalized Slip-Line for Upsetting a Cylinder ( $H/D > 1$ ) Between Flat Platens. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 1993, 6 (3): 195-203.
- [6] 王连东, 刘助柏. 圆柱体 ( $H/D > 1$ ) 在普通平板间镦粗时内部应力场计算的力学分块法. 塑性工程学报, 1994, 1 (3): 20-28.
- [7] 刘助柏, 王连东, 官英平等. 方柱体镦粗的两个新力学模型. 塑性工程学报, 1995, 2 (2): 27-32.
- [8] 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 Metalforming Conference, Beijing, 1995. China Forging Industry Association, 1995. 98-105.
- [9] 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.
- [10] Liu Zhubai. Theory of Stretching a Blank with Rectangular Cross Section between Flat Tools. 12th International Forgemasters Meeting, Chicago, Sep. 11-17, 1994. FLERF of USA, 1994, Day 2, Session 7.5.
- [11] 刘助柏, 朱继武. 平砧拔长矩形截面毛坯的新理论. 机械工程学报, 1994, 30 (5): 47-49.
- [12] 刘助柏, 朱继武. 新拔长理论工艺参数的量值匹配与确定. 机械工程学报, 1994, 30 (5): 83-85.
- [13] 刘助柏, 李纬民. 无横向拉应力锻造法. 机械工程学报, 1994, 30 (6): 107-109.
- [14] 刘助柏, 李纬民. 新FM锻造法. 机械工程学报, 1994, 30 (4): 79-82.

### ACHIEVEMENTS OF RESEARCH ON FORGING TECHNOLOGY THEORIES AND TECHNIQUES OF HEAVY FORGINGS

Liu Zhubai

(Mechanical Engineering Inst., Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

**Key words** flat platen upsetting, flat-anvils stretching, controlling forging