

国内外大锻件制造的发展与对比

全国大型铸锻件协会常务理事/专家、教授 郭会光



郭会光：太原科技大学教授、博导，享受国务院特殊津贴，为首批山西省优秀专家。全国锻压学会理事长兼太原市锻压学会理事长、全国大型铸锻件协会常务理事。

一、大锻件制造的现状与发展趋势

1. 大型锻造液压机装备及产能

“十一五”前三年我国大型锻造液压机投资处于高潮期，其数量和最大吨位都达到世界之最，且新上的特大型锻造液压机装备水平、结构型式、传动方式、技术性能都为当今世界先进水平，其中主要生产厂家的冶炼、铸造设备、粗加工、热处理配套装备都比较齐全，达到历史最好水平。但是原有老设备未及技术改造，还有一部分新设备技术性能、配套设备存在这样或那样的问题，形成不了有效的生产能力，需要进一步更新改造。2008年后，西欧、东欧、日本也都新建、改造了许多大型液压机及装备，特别是日本、韩国大锻件生产历史长，

产量高。各种迹象表明，国内外大锻件制造的市场竞争格局已经形成，竞争形势将更加激烈，因此加快提升行业的核心竞争力，实施科技创新、国产化战略，是行业普遍关注的问题。

2. 我国大锻件新产品、新技术研发形势

近些年，我国大锻件生产企业和有关科技人员，经过刻苦攻关，研制生产成功了以核电、超临界机组为代表的高端大锻件，这不仅满足了我国经济高速发展的需求，突破了“瓶颈”约束，提振了士气，锻炼了攻关能力，得到国际同行的赞誉，而且平抑了进口价格，在自主创新、国产化研制生产高端大型锻件方面迈出了重要的一步。

虽然我国大型锻造装备水平和生产工艺有了长足的进步，但距离世界最先进水平尚有不小的差

距,如锻压机器投资规模的控制与低端锻件过剩问题突出,生产质量与效益不够好,研发创新能力薄弱,关键大锻件稳定化、批量化、国产化制造经验不足,水平不高,企业转型升级起步晚,节材、节能、环保综合指标比较低,锻压新技术与理论研究,精益化制造、管理等与国际先进水平尚有明显差距。

尤其面对当前社会经济发展中不确定因素增多,市场供需关系不断变化,节能环保压力越来越大等,我国大锻件生产还将经受严峻的挑战,因此认清形势,加快进行结构调整,转变发展方式,推动企业转型升级,优胜劣汰的发展。提升自主创新能力、核心竞争力和抵抗风险的能力,提升质量和效益,促进大锻件制造的科学发展,完成从“大国”到“强国”的转变,还有许多工作亟需解决。

3. 我国大型自由锻造成形与质量控制关键技术的进步

为了实现大锻件优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产,化解制造难题,促进科学发展,在大锻件成形质量提高和内在组织性能控制方面,应该掌握一些关键技术,主要有:超大型钢锭材料成分、纯净度、组织结构控制技术;特种大锻件成形新技术与新工装的研发和应用;大型锻件锻造过程材料组织性能的变化与质量控制的研究;大型锻造共性技术的研究与工艺优化和“全过程”控制。

近年来,围绕关键大锻件生产和共性技术研究,有关企业、高等学校、科研院所,通过“产、学、研”相结合,广泛开展了数值模拟、物理模拟和试验研究工作。结合典型大锻件的科技攻关,进行了一系列有限元分析计算、材料热力模拟试验、缩比试验,搜集了各种类型、各个方面资料信息,进行了数据分析研究。

大锻件制造过程涉及材料、冶炼、浇铸、锻造、机加工、热处理多种工艺过程,其加工周期长,影响因素多,工艺过程复杂,技术含量高,因此,应对大锻件制造“全过程”加以严格控制,高标准,严要求,精细化管理,严格工艺纪律,实施工艺标准化,改革粗放、马虎的旧习,科学控制生产全过程,才能全面提升质量水平。

二、大型模锻件研发与生产的进展

1. 国外大型模锻件生产情况

世界上大型模锻件主要生产商有美国魏曼-戈登公司、美国铝业公司、俄罗斯上萨尔达钛厂、乌克兰古比雪夫铝厂与法国奥布杜瓦等公司。

美国利用450MN压机为F-22生产的Ti-64合金整体框模锻件,投影面积 5.53m^2 ,重量2770kg(见图1)及投影面积 5.16m^2 ,尺寸 $3.8\text{m} \times 1.7\text{m}$,重1590kg(见图2);为波音747生产的Ti-64主起支撑梁,长6.1m,重约1800kg(见图3);为DC-10飞机生产的铝合金支撑环模锻件,圆环直径2.7m,长5.3m,重1540kg(见图4)。

法国利用650MN压机为A-350生产的300M钢起落架外筒锻件,长3.55m、宽1.525m、高0.785m、重5500kg(见图5);俄罗斯用750MN压机为安-22运输机生产了B95铝合金隔框模锻件

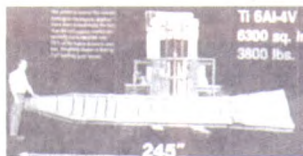
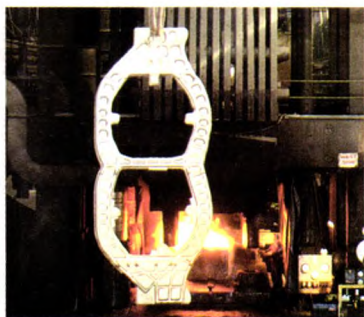
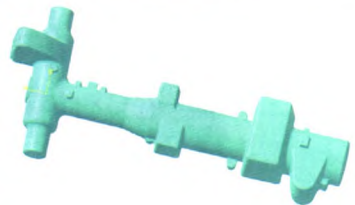


图1

图2

图3

图5

图4

图6

图1 F-22机身隔框锻件

图2 F-22用钛合金大锻件

图3 波音747用主起支撑梁锻件

图4 DC-10飞机发动机支撑环锻件

图5 A350外筒锻件

图6 安-22用B95铝合金隔框

(见图6)。

2. 国内大型模锻件研制与生产情况

在国内还没有400MN以上压机的情况下，我们对大型模锻件的需求表现很迫切，行业内开展了大量的工作，研制了一些典型的大型模锻件并实现了批产，具有代表性的钢质模锻件如起落架外筒（见图7）、曲轴（见图8）；钛合金锻件如飞机上的框（见图9）、梁（见图10），铝合金如整体框锻件（见图11），高温合金如涡轮盘件（见图12）。

由于前期有一些研发、生产基础，因此800MN压力机试生产期间，已经生产出了一些显示实力和水平的产品，如民航用起落架锻件（见图13），大型钛合金支柱锻件（见图14），大型高温合金盘件（见图15），以及大型钛合金盘锻件（见图16、图17），大型钛合金梁锻件（见图18）。

3. 新工艺技术应用及需深化研究的问题

（1）近年来，因为有限元模拟技术的应用，模锻这一传统的工艺领域获得了较快发展。法国传伟（TRANSVALOR）公司“Forge”软件，已经能表达IN718合金变形过程中晶粒细化的演变过程。在今后几年塑性有限元技术将能够达到。根据锻件外形、材质、组织、流线和性能的要求，给出修正的锻件形状、合理的坯料形状和由变形温度、应变速度、变形程度、设备吨位参数构成的多边形工艺边界，以准确指导生产条件下的工艺工作，保证产品外形和内在质量达到要求且一致性高。

现在企业应用热塑性有限元解决的主要问题有：一是测算设备吨位，进行等效应变场分析、等效应力场分析与温度场分析；二是对成形过程的充满情况、折叠、开裂、内裂及流动失稳等进行分析。

（2）等温超塑性模锻技术既是一项先进的制造工艺，也属于特种锻造工艺，因其对贵重材料的



图7 300M钢主起外筒锻件
图8 40CrNiMoA曲轴锻件
图9 钛合金整体框锻件
图10 钛合金梁锻件
图11 铝合金整体框锻件
图12 GH4698涡轮盘锻件
图13 300M主起外筒

图7 图8 图9

图13 图10 图11

图12

节约,对难变形材料的变形,对高温合金等材料内在质量控制等方面具有明显优势;对粉末高温合金涡轮盘锻件的生产,该技术有不可替代的作用。因此,近年来国内非常重视该项技术,在人力物力上的投入也非常大,研制了大型钛合金框锻件与大型铝合金框锻件等代表性的结构大锻件及多种钛合金盘件。

在等温锻造方面,国内需要解决使用温度700℃以上模具所存在的突出问题。目前所用材料如K3、K21和金属间化合物均为铸造材料,铸造工艺性差,材料收得率低,铸件内部组织致密性差,残余应力大。这使得复杂形状的较大结构件模具毛坯的生产非常困难,且质量难以保证。还有是模具寿命普遍较低,使用过程突发性失效事故频繁等。

(3) 近年来,由于核电、海洋工程、化工工业的发展,使高性能的大型阀、箱类锻件的需求呈快速增长,多向模锻的设备与工艺技术也受到了更多

的关注。多向模锻除了节约材料外,其成形过程中的挤压特征使产品具有完整流线和优良的内部质量,因而能更好地满足设计指标和使用要求。

4. 发展我国大型模锻件的思考

近年来,报道国外铝合金模锻件投影面积已达到44070cm²,钛合金模锻件投影面积达55300cm²,且国外铝合金模锻件还有向更大型化发展的空间。因此,目前我国模锻件行业向大型化发展的方向与国际上是一致的,努力达到目前的国际水平,还需要做较大努力。

从本文介绍的国内大型模锻设备建设情况看,我们应该把目标定在成为大型模锻件的生产大国和生产强国。实现这个目标,加强工艺技术的研究和投入,并取得一批有代表性的成果,推动整体技术水平的提升,是不可缺少的环节,同时提升管理水平也不能轻视。

国内如此大量的设备投入,仅靠国内市场是远远不够的,必须面向国际市场。在国际市场竞争中,目前我们在技术与成本上都处于劣势。因此,每一台设备做好产品定位,有重点地进行技术突破,实现一定批量的生产,才能充分发挥设备的作用。

三、大型锻件的科学研究与技术创新

1. 大锻件制造技术的研究工作

近年来,大锻件研究工作涵盖了基础共性技术、锻造成形技术及质量控制技术,取得的主要研究进展如下。

(1) 600t级特大型钢锭制造技术 中国一重、二重先后开展了冶炼工艺,600t级钢锭锭型设计与优化,多炉钢液合浇的钢液成分、温度、浇注速度控制,特大型钢锭凝固模拟及偏析控制,耐火材料试验及优化试验,夹杂物及杂质元素控制等多项工艺研究,基本掌握了600t级特大型钢锭的制造技术。

(2) 大型锻造过程材料微观组织演变规律与组织控制技术 针对超低碳奥氏体不锈钢304钢和316LN钢及SA508.G3.C1/2钢等核电锻件主要用钢,研究其在锻造火次之间再加热过程晶粒长大规律,研究热变形过程中材料动态再结晶行为,建立其动态再结晶动力学模型及晶粒尺寸变化模型;研



图14 钛合金斜支柱锻件
图15 高温合金盘锻件
图16 大型钛合金盘锻件
图17 大型钛合金盘锻件
图18 大型钛合金梁锻件

图14
图15 图16
图17 图18

究热变形及工序间歇停留冷却过程中材料静态再结晶行为，建立其静态再结晶动力学模型及晶粒尺寸变化模型；研究变形温度、变形量及变形分布等主要热锻工艺参数对材料晶粒尺寸的影响。

(3) 大锻件成形技术 封头类锻件成形技术，复杂筒形件仿形锻造技术，核电SG管板（饼类件）锻造技术，特大型轴类件锻造技术，主管道锻造技术等方面取得一定进展。

2. 大型锻造国内外研究进展比较

随着特大型自由锻造水/油压力机的不断投产，中国已在大锻件生产能力和产量方面达到了世界第一。但在大型电站锻件的技术水平方面与世界发达国家相比还有相当大的差距，日本JSW和法国Crusot在20世纪70~80年代就已批量生产核电锻件，JSW于1986年就用600t级钢锭制造整锻汽轮机低压转子，欧洲及日本早在20世纪50~60年代就开始研制12%Cr汽轮机高、中、低压转子，二十几年前就已批量生产超超临界高、中、低压转子。总体上看，我国的核电等高端大锻件技术水平与世界先进水平还存在明显差距。

3. 大型锻造科技进步发展趋势及展望

经过“十一五”期间的建设与发展，我国大锻件装备能力实现了跨越式发展，大型锻造技术水平

也得到了明显提升，这是大锻件行业历史上发展最好的时期。但必须清醒地认识到，我国大型锻造技术与世界先进水平之间所存在的较大差距：大部分高端大锻件还不能批量稳定生产，产品质量不稳定，废品率较高，有不少技术尚未达到稳定和固化；锻件材料、能源消耗较大，其制造的经济性和节能减排还有较大提升空间。因此，在“十二五”时期及未来，技术创新和技术进步依然是我国大锻件行业的首要任务。发展目标是：完善并掌握大型锻件核心制造技术，行业技术水平进入世界先进行列，以满足我国核电、火电等先进重大技术装备不断发展的要求。

四、几点建议

(1) 加快产业结构调整，推动企业转型升级，实施科技驱动战略，提升核心竞争力与发展实力。

(2) 攻坚克难，自主创新，发展高端产品与技术的创新能力，提升国产化水平，满足社会经济发展与国防建设的需求。

(3) 加强人才建设和技术建设，注重内涵发展，提升制造水平和实力。

(4) 改革管理体制机制，提升现代化生产水平。MW (20131017)

锻压栏目征稿启事

《金属加工（热加工）》一直秉承《机械工人》“以实用性为主，来源于实践，服务于生产”的报道方向，主要选登实用性强、具推广意义的技术文章。

《金属加工（热加工）》长期面向广大锻压工作者征集优秀稿件，凡涉及锻造、冲压、钣金等设备与工艺、先进生产管理、锻压行业发展探讨的文章均可向我刊投稿。



稿件一经录用，稿费从优（不收取版面费）。《金属加工（热加工）》为国家级期刊，发表论文可用于技术职称评定。



联系电话：010-88379798转623 王建宏
投稿邮箱：1. rb1950@126.com 2. www.metalworking1950.com
工作QQ：2224882613 QQ交流群：金属加工杂志锻压班344043798