

特约专栏

现代挤压装备的发展

谢东钢¹, 陈蕴博^{1,2}, 郑文达¹, 韩炳涛¹

(1. 金属挤压与锻造装备技术国家重点实验室, 陕西 西安 710032)

(2. 机械科学研究总院先进制造技术研究中心 先进成形技术与装备国家重点实验室, 北京 100083)

摘 要: 简要介绍了挤压装备的发展历程、挤压产品的特点及其在国防工业和国民经济各行各业中的应用; 阐述了我国挤压装备迅速发展的现状。尽管我国近年来挤压装备发展迅速, 已经成为世界挤压大国, 挤压装备数量和挤压力位列世界前茅, 然而我们还不是挤压强国。与发达国家的挤压装备技术比较, 挤压装备的前沿技术、挤压工艺、模具设计理论和方法、自动控制、模具结构创新和现代化精密加工、产品质量乃至挤压装备的数量以及规格和类型的分布诸方面依然落后。随着科学技术的发展与进步, 人类生产活动的不断延伸, 对于挤压制品的要求越来越高, 因此挤压机的大型化、智能化、可靠性、设备生产能力极限化以及超高压油泵直接控制是未来挤压装备的发展趋势。

关键词: 挤压装备; 智能化; 可靠性; 超高压油泵直接控制

中图分类号: TG 146.4 文献标识码: A 文章编号: 1674-3962(2013)05-0264-05

The Development of Modern Extrusion Equipment

XIE Donggang¹, CHEN Yunbo^{1,2}, ZHENG Wenda¹, HAN Bingtao¹

(1. State Key Laboratory of Metal Extrusion and Forging Equipment Technology, Xi'an 710016, China)

(2. State Key Laboratory of Advanced Forming Technology and Equipment, Advanced Manufacture Technology Center, China Academy of Machinery Science & Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: The article gives a brief historical overview of extrusion equipment, the characteristic of extruding products and the use of them in military and industries, and also introduces the current situation of domestic extrusion equipment. Although the extrusion equipment has been built up rapidly in our country nowadays, the presses that we have are numerically superior and the world's largest extrusion press is built interiorly; our country is still not the great powerful nation in extrusion. It still falls behind compared with the developed countries on the aspects of the advanced technology of extrusion, extrusion process, the theory of mold design, automatic control system, and innovation in the structure and modern precision machining of the extrusion dies, product quality, also the amount and specifications as well as type of extrusion press. The authors, at the same time, point out that, as the developments in science and technology, human productive activity extends unceasingly, much higher quality of extrusion products is required, so larger even extra-large type, intelligence, reliability, maximization of the extruding products and the super-high pressure oil pump direct control will be the main trend of extrusion press in the future.

Key words: extrusion press; intelligence; reliability; super-high pressure oil pump direct control

1 前 言

挤压是用来生产诸如棒材、线材、管材、实心或空心型材、带材的一种加工方法。挤压产品广泛应用于航空航天、国防军工、电力、交通运输, 建筑等国民经济的各行各业。

挤压加工法具有许多优势, 其中主要有如下3个方面:

(1) 挤压可以生产截面形状复杂的产品, 而这些产品用轧制等其他方法难以乃至根本无法生产^[1];

(2) 在挤压过程中, 金属材料处于三向受压的应力状态, 金属可以发挥最大的塑性变形, 对于低塑性材料, 挤压法生产优势更为突出; 用挤压法生产还可以消除产品内部的微小缺陷, 提高材料的性能^[1];

(3) 挤压方法有很大的灵活性, 只要更换工模具便可生产不同形状和尺寸的产品, 尤其适合于多品种小批

收稿日期: 2013-03-20

第一作者: 谢东钢, 男, 1956年生, 研究员级高级工程师

通讯作者: 陈蕴博, 男, 1935年生, 中国工程院院士

DOI: 10.7502/j.issn.1674-3962.2013.05.02

量的特殊材料生产^[1]。

挤压生产装备多种多样,可以应用于国民经济的各行各业,如食品加工业、化肥工业、木材加工业等,本文主要介绍金属挤压装备(不包括特殊类型的金属挤压机)的发展历史及现代挤压装备的发展情况。

2 挤压装备的发展历史

挤压工业的历史可以追溯到200年以前,随着挤压实践经验逐渐丰富和对于挤压工艺、挤压工模具和金属流动规律不断的深入研究,极大地推动了挤压加工技术的发展。1797年,英格兰人S. Bramah设计了第一台铅挤压机;1820年,英格兰人Thomas Burn建造了第一台铅管液压挤压机,这台挤压机基本上包括了现代挤压机的基本构件,诸如挤压筒、可更换模具、带有挤压垫的挤压杆以及用螺纹连接在挤压杆上的可移动穿孔针等。1870年,Haines和Werms建成了一台反向铅挤压机;1879年,Borell建成第一台电缆包铅的铠装铅挤压机。至1918年全球已经建设了200余台挤压机。1927/1928年,在Singer机械式挤压机上第一次尝试了钢管挤压生产;1933年,根据Singer的专利,Mannesmann在Witten建造了一台12 MN机械式钢管挤压机;1941年,Ugine-Séjournet发明了玻璃润滑剂,促进了热挤压钢的发展。1943/1944年,DEMAG-Hydraulic和Schloemann-SIMAG建造了第一台125 MN大型挤压机。

1945年后,卧式和立式挤压机、挤压机辅助设备、短行程挤压机、回转式挤压机、紧凑型挤压机等取得了突破性进展。20世纪40~50年代,前苏联制造了80 MN双动铜挤压机和120 MN、200 MN大型挤压机,均为水泵-蓄势器传动。20世纪60年代初,油泵直接传动挤压机出现。1963年后日本制造的挤压机全部采用油泵直接传动,但挤压力基本小于30 MN,而且仅限于铝挤压机。1967年,Cameron Steel Co.设计制造了350 MN立式反向钢挤压机,该挤压机同时具有挤压和模锻功能,到2010年国内建成360 MN立式钢挤压机之前,这台挤压机一直是全球最大的挤压机。

20世纪70年代初,沈阳重型机器厂制造出国内第一台125 MN卧式双动水泵-蓄势器传动挤压机。2002年7月,西安重型机械研究所(现中国重型机械研究院)联合相关单位,制造了第一台100 MN油泵直传双动铝挤压机,在山东丛林集团试车成功,使我国重型挤压机的设计制造步入了国际先进行列。2010年,国内建成360 MN立式正向钢挤压机,这台挤压机由清华大学设计,安装于内蒙古北方重工,打破了美国350 MN立式挤压机世界之的地位。2012年8

月,河北宏润重工股份有限公司建成全球最大的500 MN立式双动钢挤压机。2013年,国内在建680 MN立式双动钢挤压机,拟建250 MN卧式双动铝挤压机,这将使我国的大型超大型挤压机数量和挤压力均位于世界前茅^[1-3]。

3 挤压装备技术的国内外现状

据不完全统计,全球有各种类型挤压机约7 000余台,其中美国600余台、日本400余台、德国200余台、俄国400余台、中国4 000余台。这些挤压机的挤压力大都在30 MN以下,5 000 t以上的大型、重型挤压机100余台,其中中国56台。由于航空、地铁、舰船、航母以及海洋和军工产品的需要,美国和前苏联截止1960年就已经建造了14条不同类型能够满足上述领域产品生产要求的大型、重型挤压生产线^[4]。

3.1 有色金属挤压机

有色金属挤压机包括铝(铝合金)挤压机和铜(铜合金)挤压机,多为卧式挤压机。目前全世界已正式投产的万吨以上的大型有色金属挤压机约20余台,挤压力最大的是美国雷诺公司的270 MN挤压机,其次是俄罗斯古比雪夫铝加工厂的200 MN挤压机。2002年山东丛林集团铝业公司首台100 MN建成投产后,国内110 MN、125 MN不久又相继投产,目前在建项目包括150 MN、165 MN重型挤压机,拟建的225 MN、250 MN超重型卧式挤压机,吨位仅次于美国的270 MN^[1,4]。

据报导,国外几个工业发达的国家都在研制挤压力更大、型式更为新颖的挤压机,如350 MN卧式挤压机,以及吨位450~600 MN挤压大直径管材的立式模锻-挤压联合压机。在挤压机本体方面,近年来国外发展了钢板组合框架和预应力“T”型头板柱结构机架和预应力混凝土机架,大量采用扁挤压筒、活动模和内置式独立穿孔系统。在传动形式方面发展了自给油传动系统,甚至万吨级以上的大型挤压机上也采用了油泵直接传动装置。

现代挤压机及其辅助系统都采用了PLC(程序逻辑控制)系统、CADEX闭环系统进行速度自动控制,实现了等温-等速挤压、工模具自动快速装卸乃至全机自动控制。挤压机的辅助设备(如长坯自控加热炉、坯料热切装置、在线淬火装置、前梁锯、活动工作台、冷床和横向运输装置、拉伸矫直机、成品锯、人工时效炉等)已经实现了自动化和连续化生产,挤压程序化、高质量、高效率的特征在工艺及装备各方面均反映了现代挤压加工技术的新水平。

挤压产品大型化、复杂化、高精化是现代挤压的另

一个特点。挤压铝型材的最大宽度可达到 2 500 mm，最大断面积可达 1 500 cm²，最大长度可达到 25 ~ 30 m，单根翅片管等。挤产品最重可达 2 t 左右。超高精度型材的最薄壁厚已达 0.3 mm，最小公差可达 ±0.012 7 mm。薄壁宽型材的宽厚比可达 150 ~ 300 以上，空心型材的孔数可达数十个之多。管材的品种也有了很大发展，除各种不同规格的圆管以外，还生产出各种轻合金异形管、变断面管、螺旋管、压圆管的规格范围为 (20 × 1.5) mm ~ (625 × 15) mm，最薄壁厚可达 0.38 mm。冷挤压管的精度更高，一般不需机械加工，内外表面不需进行任何处理即可使用。例如：带 11 条筋骨的反应堆套管，壁厚公差公仅为 ±0.07 mm。圆棒的规格范围为 3 ~ 620 mm，而且可以生产各种规格的异形断面棒材。

3.2 黑色金属挤压机

黑色金属挤压包括了除铜、铝挤压外的钢、合金钢、高温合金、难变形合金等变形温度高、变形抗力

大、低塑性的金属及其合金的挤压。黑色金属挤压是在塞氏兄弟 (Ugine-Séjournet) 发明了玻璃润滑法之后，模具受高温和氧化而很快磨损的问题得以较好解决，才在工业上获得了广泛应用。

随着高速、自动化、大吨位挤压机的采用，以及玻璃润滑剂、无氧化加热、高强度高韧性热作模具等相关技术的发展，用热挤压法生产无缝钢管及型材，特别是生产难变形的不锈、高合金钢管及型材得到了迅速的发展。国外 50 MN 以上黑色金属生产用大型、重型挤压机的配置情况如表 1 所示。

黑色金属挤压产品应用领域十分宽广。主要包括：航空、航天发动机用难变形合金棒坯，粉末高温合金棒坯，飞机起落架用超高强度钢厚壁管，潜艇潜望镜用大口径厚壁超长管，大型驱逐舰用耐压、耐腐蚀不锈钢，核电站用主管道和蒸发器管，燃气轮机、烟汽轮机盘及叶片用棒材，火电站用耐热耐腐蚀锅炉管，以及高速列车、石化、船舶等行业用特种合金型材等。

表 1 国外 50 MN 级以上的黑色金属挤压机拥有量
Table 1 More than 50 MN steel extrusion press in the owerseas

Country	User	Extrusion force/ MN	Amount	Product specification/mm
USA	Lone Star Steel Co.	55	1	φ114.3 ~ 411.5
	American Special Metals	56.5	1	-
	Lone Star Steel Co.	60.5	1	φ60 ~ 273
	Cuttise Wright Co.	72	1	-
	Cuttise Wright Co.	108	1	φ530 ~ 650
	Wyman Gordon (Huston)	350	1	φ < 1 220
Russia	Металлургический Завод Электросталь	63	1	-
	Ступинская Металлургическая Компания	90	1	-
UK	Wiggin Alloys	50	1	φ50 ~ 280
	Wyman Gordon (Livingston)	270	1	< φ850
	Low Maor Alloys	55	1	-
Japan	Kobe Steel Ltd.	55	1	φ70 ~ 280
Italy	Petra	54.5	1	-

发达国家的黑色金属挤压技术发展较早，目前设备和工艺已经能够满足挤压产品的市场需求。具有如下特点：

- (1) 挤压力大，重型、超重型挤压机数量多，最大吨位达到 350 MN；
- (2) 超重型挤压机多为立式挤压机，主要用于大口径钢管生产，卧式挤压机可生产管、棒、型材各种挤压制品；
- (3) 挤压产品精度高，挤压后的荒管壁厚偏差可达到 5% ~ 7%，远远高于国内产品标准；
- (4) 机械化程度高，经过改造的重型挤压机、操作机、过程运输均实现了联动控制，全部机械化。

国内黑色金属挤压技术的研发较晚，2005 年以前 30 MN 级以上的无缝钢管挤压机组仅有两台 31.5 MN 卧式挤压机，均为德玛克制造。能够生产 φ100 mm ~ φ219 mm 的无缝钢管。近年来国内黑色金属挤压设备建设势头强劲，新增了一台 31.5 MN (为意大利达涅利制造)、两台 35 MN、一台 40 MN (锆管挤压机)、两台 60 MN 挤压机组 (西马克制造)，360 MN (设计生产能力 12.5 t/a) 立式正向黑色金属挤压机于 2010 年正式投产，刷新了全球最大吨位的挤压机记录，但这项国内自主创新研制成功的全球最大吨位挤压机的纪录，在仅仅不到两年时间内，又被国内研制的 500 MN 立式正向黑色金属挤压机刷新，而不久即将建成的 680 MN 超重型黑色金属立

式挤压机将又一次刷新世界最大吨位挤压机的记录。

3.3 国内挤压装备与发达国家的差距

随着世界最大吨位的有色、黑色金属挤压机的建成,我国各类挤压机的拥有量、吨位水平均居世界前茅,一跃成为世界最大吨位挤压机的制造国。但是与发达国家的金属挤压装备技术比较,仍存在较大差距:

3.3.1 前沿技术落后于发达国家

我国的挤压技术近年来取得了长足的进步,但是等温挤压、宽幅挤压等前沿挤压技术仍落后于发达国家。

3.3.2 模具设计理论、方法和结构选择等方面,落后于国际先进水平

国外在热模拟技术、虚拟设计及软件开发等方面取得较多创新,基本上实现零试模或可大大减少试模次数,而国内尚未建立完整的、大型的数据库和专家库,软件开发刚刚起步,差距较大。

3.3.3 挤压工艺落后,工艺研究少有突破

在有色金属挤压方面,近年来发达国家除了改进和完善了正反向挤压方法及其工艺以外,出现了许多强化挤压过程的新工艺和新方法,并获得了实际应用,如舌型模挤压、变断面挤压、水冷模挤压、扁挤压、宽展挤压、精密气、水(雾)冷在线淬火挤压、半固态挤压、高速挤压、冷挤压、高效反向挤压、等温挤压、特种拉伸一辊矫、形变热目前处理等新技术新工艺等。而国内正热衷于挤压装备的大型化,挤压新工艺和新方法的研究相对不足。

在黑色金属挤压方面,尽管近年来国内设备建设速度很快,但是工艺开发没能跟上设备的建设速度。目前国内较成熟的生产工艺就是长城特钢的不锈钢挤压工艺和宝钛的钛挤压工艺,其它金属及其合金的挤压工艺还在摸索之中,加之各个国家的生产工艺都是保密的,所以挤压工艺还需要相当长的时间进行探索才能满足生产需要。

3.3.4 主机结构单一

前已述及,发达国家仍在不断探索新的不同形式的挤压机主机结构,而国内的挤压机主结构形式单一。大多数有色金属挤压机几乎全部为卧式挤压机,特别是大型、超大型铝挤压机,几乎毫无例外地采用拉杆、压套式的预应力框架以及数量极少的叠板锤头结构。大型、超大型黑色金属挤压机均为立式挤压机,这就制约了在现有加工能力下更大吨位的卧式挤压机的研制,因此必须研发结构更新、更紧凑、强度和刚度更好的挤压机主机结构。

3.3.5 自动化程度低

国内有色金属挤压机的自动化程度高于黑色金属挤

压机的自动化程度,但与发达国家相比,其可靠性、运行平稳程度、可操控性等方面仍然存在差距。黑色金属挤压机,特别是重型、超重型立式黑色金属挤压机,几乎谈不上自动化,主要以人工操作为主。

3.3.6 在模具结构创新和精密现代化加工方面有较大差距

国外已开创出多种新的先进结构模具,加工精度达到了很高水平,复杂的多孔、多腔空心型材模和微型多孔超精密复杂模等已能大批量生产,产品质量十分稳定,我国在这方面还处于起步阶段。

同时工模具材料的种类、质量和使用寿命大大落后于国际先进水平,与此相关的热处理和表面处理技术也有较大的差距,致使国内模具的使用寿命总体上仅为国际先进水平的1/3左右。

3.3.7 挤压装备的数量、规格和类型分布欠合理

挤压装备类型单一 国内建设的挤压装备,不论是有色金属挤压机,还是黑色金属挤压机,基本上都采用热挤压技术,而温挤压和冷挤压装备几乎为零,拥有的极少量的温挤压或者冷挤压装备,挤压力很小,多在20 MN以下,大型挤压装备全部为热挤压。

超重型的立式黑色金属挤压机数量偏多,且集中在300 MN以上 近年来,国内超重型挤压装备建设速度突飞猛进,继360 MN立式挤压机建成后仅仅两年时间,全球最大的500 MN立式挤压机便投入生产,680 MN立式黑色金属挤压正在建设中,重型黑色金属挤压机的吨位和数量均多于美国。由于立式挤压机的主要产品是大口径厚壁管,其产品单一,当680 MN立式挤压机建成后,将可能出现开机率不高的局面。

此外,国内的重型黑色金属挤压机的挤压力从60 MN一跃就到360 MN,继之为500 MN和680 MN,中间形成了断档,将使挤压产品形成两头大中间空的局面,会使超大型管材市场形成过剩,而大型管材以及大型、超大型型材生产却是空白,与美国的设备系列化形成了明显的对比。

重型、超重型卧式黑色金属挤压机发展滞后 国内的重型、超重型黑色挤压机多为立式挤压机,主要用于生产大口径钢管。重型卧式挤压机除了可生产大口径管材,同时可以生产棒材和大截面型材,其产品范围广,品种全,能够满足国防和国民经济各行各业的需求,所以发达国家的黑色金属挤压机多以卧式挤压机为主。

3.3.8 产品质量较差、合格率较低

黑色金属挤压产品的质量和合格率远远低于发达国家,美国威曼高登的挤压荒管壁厚偏差达到5%~7%的精度,而国内的挤压荒管壁厚差高达20%,远远低

于国外水平。

4 挤压装备的发展趋势

4.1 挤压装备大型化

随着挤压技术的发展,挤压产品的大型化、整体化和高精度已成为发展趋势。由于整体结构件的强度、刚度及其力学性能远高于组合件,随着科学技术的进步,人类生产活动的不断延伸,国民经济各行各业对于结构件整体化的需求已经凸显,特别是航空航天、舰船、交通运输、能源、海洋工程以及国防工业对于整体结构件的需求更为迫切。因此挤压装备的大型化将成为未来的发展方向,国内外几乎同时开始了 350 MN 卧式挤压机的研制工作,国内 680 MN 立式挤压机已在建。

4.2 挤压装备智能化

智能化的主要内容是实现设备的自我检测、自我诊断和自我控制,旨在将人工智能融进设备运行过程的各个环节(即产品整个生命周期的所有环节),通过模拟专家的智能活动,对设备运行过程中的问题进行分析、判断、推理、构思、决策,并对人类专家的制造智能进行收集、存储、完善、共享、继承和发展,从而在生产过程中系统能自动监测其运行状态,在受外界或内部激励时能自动调整其参数,以期达到最佳状态。

功能完备的智能设备必须具备灵敏准确的感知功能、正确的思维与判断功能以及行之有效的执行功能。感知功能是传感器的任务,思维和判断则是控制器的功能,其主要技术就是自诊断技术。目前自诊断技术的研究主要集中在专家系统、模糊逻辑控制、人工神经网络以及其它人工智能方法。

专家系统的主体是一个基于知识的计算机程序系统,其内部具有某个领域中大量专家水平的知识和经验,能够利用人类专家的知识和解决问题的方法来解决该领域的问题。其最具有吸引力、也是难度颇大的领域之一就是专家控制。专家控制可以看成是对一个“控制专家”在解决控制问题或进行控制操作时的思路、方法、经验、策略的模拟。

4.3 挤压能力极限化

挤压产品的大型化、整体化和高精化,要求挤压装备大型化、超大型化,然而由于加工、运输及安装能力的限制,挤压装备的无限大型化亦将受到限制,因此采用新工艺、新技术以及新型工模具(如扁挤压技术),使同等挤压能力的装备挤压出极限尺寸的产品(超大、超重、超精),将成为未来几年挤压装备的发展方向。

4.4 可靠性将成为挤压装备的重要的质量指标之一

可靠性作为一种质量指标,是产品在规定的时间内和规定的条件下完成规定功能的能力,它与一般的质量指标的不同在于它是时间质量指标。

现代挤压装备是一种高度自动化的机电液一体化设备,其结构十分复杂,随着产品日益高参数化和复杂化,设备发生故障机会大大增多,对于大型、超大型挤压装备,一旦发生事故,其危害无疑将是巨大的,因此可靠性对于重型挤压装备尤为重要,我国已经对基础制造业的可靠性提出了具体要求,即到 2015 年“平均无故障时间(MTBF)达到 1 500 h”,因此可靠性也必将成为衡量挤压装备的主要质量指标之一。

4.5 超高压、油泵直控技术

从上世纪 80 年代始,由水泵-蓄势器传动系统逐步改造为泵直驱油控系统是一次挤压机传动革命,而近年来又大量采用了油泵直控式液压系统,其优势是显而易见的。随着挤压装备的大型化,所用零部件出现超大、超重、超精趋势,造成加工、运输和安装的难度。而工作介质压力的超高压化,可使挤压机的结构更加紧凑,刚度强度更好;减小了投资,节约了能源,降低了超大型零部件的加工、运输和安装难度,元件寿命更长,控制更方便、更精确。因此,超高压系统将是超大型挤压机的发展趋势。

5 结 语

改革开放以来,在短短的二十多年内,我国已经成为世界挤压装备大国,但仍不是挤压装备强国。无论设备的设计、制造,还是先进工艺的开发、应用,与发达国家相比,还存在较大差距。挤压装备的大型化、智能化、高可靠性,挤压设备生产能力极限化,以及超高压油泵直控将是未来挤压装备的发展趋势。

参考文献 References

- [1] Xie Jianxin(谢建新), Liu Jing'an(刘静安). *Theory and Technology of Metals Extrusion*(金属挤压理论与技术)(第二版)[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2012.
- [2] Laue K, Stenger H. *EXTRUSION*[M]. Ohio: ASM, 1981: 217-219.
- [3] Wei Jun(魏 军). *Metal Extrusion Press*(金属挤压机)[M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 2005.
- [4] Liu Jing'an(刘静安), 我国有色金属挤压工艺装备现状及技术创新与发展趋势[J]. *Aluminum Fabrication*(铝加工), 2011, (4): 24-29.