

旋压技术

Xuan Ya Ji Shu

王成和

刘克璋

周路◎编著



海峡出版发行集团 | 福建科学技术出版社

THE STRAITS PUBLISHING & DISTRIBUTING GROUP

FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

旋压技术

Xuan Ya Ji Shu 王成和

刘克璋

常州大学图书馆藏书章

◎ 编著



海峡出版发行集团

THE STRAITS PUBLISHING & DISTRIBUTING GROUP

福建科学技术出版社

FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

本书系 1986 年 5 月版《旋压技术》的修订版,是根据近 30 年来国内外有关旋压技术(工艺、设备及应用)的大量技术文献资料,并结合作者近 50 年来的技术实践与见解编写而成的。本书较系统全面地介绍了旋压技术的发展概况和特点、旋压成型的基本原理、旋压设备及其设计、金属旋压工艺和参数选择、旋压理论分析和试验研究,以及应用实例等内容。本书还增加了旋压新设备及其数控伺服系统、新工艺和生产经验等内容。

本书可作为从事金属旋压及压力加工方面工作的技术人员及有关高等院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

旋压技术/王成和,刘克璋,周路编著. — 福州:
福建科学技术出版社, 2017. 1
ISBN 978-7-5335-5087-5

I. ①旋… II. ①王… ②刘… ③周… III. ①旋压—
工业技术 IV. ①TG386

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 135312 号

书 名	旋压技术
编 著	王成和 刘克璋 周路
出版发行	海峡出版发行集团 福建科学技术出版社
社 址	福州市东水路 76 号 (邮编 350001)
网 址	www.fjstp.com
经 销	福建新华发行(集团)有限责任公司
印 刷	福州华彩印务有限公司
开 本	787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张	72
字 数	1826 千字
版 次	2017 年 1 月第 1 版
印 次	2017 年 1 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5335-5087-5
定 价	260.00 元

书中如有印装质量问题,可直接向本社调换
本书可在本社天猫网店“福建科技出版社旗舰店”买到

前 言

金属旋压中普通旋压是我国古代的一项技术发明，具有悠久的历史。而强力旋压却是20世纪50年代后国外在此基础上迅速发展起来的一项技术。这种成形技术具有变形条件好，制品性能高、应用范围广、尺寸偏差小、材料利用率高以及可制得整体无缝空心回转体零件等优点。它已在各先进工业国家的工业部门中显示出其先进性、实用性和经济性。值得指出的是，旋压技术的工艺和设备成功地应用于航天、航空火箭、导弹和人造卫星等尖端技术领域是一项不可或缺的技术。同时旋压技术在常规兵器、化工、冶金、机械制造、电子以及轻工民用等工业部门也得到广泛应用。旋压也是一种量大面广的技术装备和产品。总的来说，它已成为一个新技术与传统工艺方法并行发展的金属压力加工新领域。

目前，国内外旋压技术发展已趋成熟完善，不论在工艺研究，设备设计和制造，还是理论研究和应用各方面都有很大的进步。我国旋压技术在20世纪60年代后，尤其改革开放以来有了很大发展，具体体现在工艺技术的提高和设备设计制造能力的增强方面，缩小了与国外先进水平的差距，并具有一定规模科研技术队伍和生产厂家，形成了一定的加工能力，基本上可满足我国国民经济发展的需要。

为了促进我国旋压技术的发展，我们于1986年5月由北京机械工业出版社出版了《旋压技术》一书，至今已30年，深受从事金属压力加工工作人员，特别是旋压界的读者喜爱。鉴于30年来国内外旋压技术的迅速发展，很多新技术、新工艺、新设备（数控、录返控制旋压机和生产线）及新材料的涌现，许多读者迫切希望能有较全面和系统总结、归纳和反映当代旋压技术的新书，于是我们编写了新版的《旋压技术》。

在编写过程中，我们本着理论与实践相结合的原则，力求反映当代旋压技术的新技术、新面貌。全书共7章，第1章旋压技术概况，第2章旋压成型的基本原理及主要派生旋压法；第3章旋压设备；第4章旋压机的设计；第5章金属旋压工艺；第6章旋压理论分析与试验研究；第7章旋压加工实例。另外，我们深知有实用价值的工艺方案图和设备结构图常常能使读者思路顿开，激发起创业创新、发明创造的灵感，因此我们力图使本书图文并茂。

本书由王成和主编，刘克璋，周路参加编写。书中第4章旋压机设计的第4.9节旋压机的液压传动系统设计由杨仁霖、王成和编写。第4.10至4.13节旋压机的电力拖动和自动控制系统设计和旋压机的试验研究等4节由陶青荣、王成和、周路编写。

本书的出版得到了广东惠州市博赛数控机床有限公司资助，在此深表感谢。

本书借鉴了历届全国旋压技术交流会文集的内容和案例，丰富了本书内容。本书承蒙汪发春先生和李瑞芳女士的认真审阅，并得到陆奕军女士，周平虎、张升、聂兰启、李发全和姚建伟等先生的关心和帮助，在此一并致谢。

由于我们经验和水平有限，书中难免存在错误或不妥之处，恳切欢迎读者批评指正。

作者

2016年6月

目 录

第 1 章 旋压技术概况	(1)	2.4.1 超声波旋压法	(76)
1.1 旋压技术的发展	(1)	2.4.2 通用芯模旋压法	(79)
1.1.1 普通旋压工艺的发展概况	(1)	2.4.3 内旋压法	(80)
1.1.2 国外强力旋压技术发展简况	(3)	2.4.4 对轮旋压法 (内外旋压法) ...	(84)
1.1.3 国内旋压技术发展概况	(6)	2.4.5 斜轧式旋压法	(87)
1.1.4 国内旋压技术的新进展	(8)	2.4.6 行星式旋压法	(88)
1.2 旋压工艺的特点	(9)	2.4.7 张力旋压法	(91)
1.2.1 技术特点	(9)	2.4.8 浮动芯模旋压法	(94)
1.2.2 技术局限性	(17)	2.4.9 旋拔联合旋压法	(95)
1.2.3 与其他工艺方法的对比 ...	(17)	2.4.10 锥形长管旋压法	(97)
1.3 旋压技术的应用	(18)	2.4.11 多旋轮错距旋压法	(100)
1.3.1 产品的应用	(18)	2.4.12 无芯模旋压法	(105)
1.3.2 旋压材料	(22)	2.4.13 滚辊模旋压法	(107)
1.3.3 可旋压工件的形状	(28)	2.4.14 钢球 (滚珠) 旋压法 ...	(108)
1.3.4 旋压加工工艺与其他工艺的联合应用	(33)	2.4.15 劈开旋压法	(121)
第 2 章 旋压成型的基本原理和主要派生的旋压法	(37)	2.4.16 折叠式旋压法	(123)
2.1 旋压成型法的分类	(37)	2.4.17 滚挤式旋压法	(125)
2.2 普通旋压的基本原理	(39)	2.4.18 齿圈的旋压法	(127)
2.2.1 拉深旋压 (拉旋)	(39)	2.4.19 轮毂铲辚旋压法	(132)
2.2.2 缩径旋压 (缩旋)	(50)	2.4.20 环形旋轮旋压法	(135)
2.2.3 扩径旋压 (扩旋)	(59)	2.4.21 摩擦工具旋压法	(138)
2.2.4 辅助成形	(63)	2.4.22 转盘式多轮旋压法	(140)
2.3 强力旋压的基本原理	(68)	2.4.23 旋辗旋压法	(141)
2.3.1 剪切旋压 (Shear Spinning) ...	(68)	2.4.24 椭圆形工件旋压法	(141)
2.3.2 筒形件变薄旋压 (Spinning with reduction) 或流动旋压 (flow forming)	(72)	2.4.25 加热旋压法	(145)
2.4 主要派生旋压法	(76)	2.4.26 射流式旋压法	(148)
第 3 章 旋压设备	(150)	3.1 旋压机概述	(150)
3.1 旋压机概述	(150)	3.2 旋压机的分类	(159)
3.2 旋压机的分类	(159)	3.3 各类型典型的旋压机	(164)
3.3 各类型典型的旋压机	(164)	3.3.1 机床型旋压机	(165)
3.3.1 机床型旋压机	(165)	3.3.2 轧机型旋压机	(266)
3.3.2 轧机型旋压机	(266)	3.3.3 压力机型旋压机	(281)
3.3.3 压力机型旋压机	(281)		

3.3.4 特殊型旋压机·····	(295)	4.6.3 旋压机进给箱中变速、换向和牵引机构·····	(441)
第4章 旋压机的设计·····	(311)	4.6.4 进给机构的计算·····	(448)
4.1 旋压机设计的原则和步骤·····	(311)	4.7 尾座·····	(458)
4.1.1 旋压机设计的一般原则···	(311)	4.7.1 旋压工艺对尾座的要求·····	(459)
4.1.2 旋压机的调查与分析·····	(312)	4.7.2 尾座的结构·····	(459)
4.1.3 旋压机设计步骤·····	(315)	4.7.3 尾座顶紧力的计算·····	(469)
4.2 旋压工艺对设备的要求和设备的一般特点·····	(317)	4.8 旋压机的床身装置和导轨·····	(469)
4.2.1 旋压工艺对设备的要求···	(317)	4.8.1 床身装置的功用和要求·····	(469)
4.2.2 旋压机的一般特点·····	(320)	4.8.2 床身的结构·····	(470)
4.3 旋压机的布局、结构形式及运动联系方式·····	(321)	4.8.3 导轨的功用、要求和类型·····	(486)
4.3.1 旋压机的总体布局·····	(321)	4.8.4 导轨的结构·····	(487)
4.3.2 旋压机结构形式·····	(324)	4.9 旋压机的液压系统设计·····	(500)
4.3.3 旋压机运动联系方式·····	(331)	4.9.1 液压传动和控制系统的优缺点·····	(500)
4.4 旋压机的主轴传动·····	(335)	4.9.2 液压传动和控制系统的·····	(501)
4.4.1 旋压机主轴变速箱功用、组成和要求·····	(335)	4.9.3 旋压机液压传动设计计算·····	(559)
4.4.2 主轴变速箱的变速传动系的拟定·····	(337)	4.9.4 液压动力站的结构设计···	(572)
4.4.3 数控旋压机主轴传动·····	(353)	4.10 旋压机的电力拖动和自动控制系统设计·····	(574)
4.4.4 主轴变速箱的布局·····	(360)	4.10.1 概述·····	(574)
4.4.5 变速箱的变速方法·····	(363)	4.10.2 电力拖动形式和选择···	(574)
4.4.6 主轴变速箱传动功率的确定·····	(363)	4.10.3 拖动的控制系统·····	(581)
4.4.7 旋压机的主轴部件·····	(366)	4.10.4 旋压恒线速、恒进给和同步控制·····	(595)
4.5 旋轮座·····	(393)	4.10.5 数控旋压机的控制系统·····	(599)
4.5.1 通用型旋压机的旋轮座·····	(393)	4.10.6 旋压机的自动控制系统设计举例·····	(620)
4.5.2 筒形件强旋的旋轮座·····	(413)	4.11 旋压机的数控改造·····	(635)
4.5.3 封头旋压的旋轮架·····	(424)	4.11.1 PXC250型普旋机床数控改造·····	(636)
4.5.4 气瓶、罐体的缩径和封底旋轮架·····	(427)	4.11.2 PXC750型普旋机床的数控改造·····	(638)
4.5.5 行星式旋压旋轮架·····	(430)	4.11.3 SY-40型双旋轮强旋机床数控·····	
4.6 旋压机的纵向进给传动·····	(432)		
4.6.1 进给机构的功用和要求·····	(432)		
4.6.2 旋压机进给机构的基本类型·····	(433)		

改造	(639)	5.4.7 旋轮安装角 (β)	(719)
4.12 高速数控旋压机及其技术 ...	(641)	5.4.8 旋压温度	(720)
4.12.1 高速旋压成形的概念 ...	(641)	5.4.9 旋压工艺冷却和润滑	(721)
4.12.2 高速旋压机的关键技术	(642)	5.5 旋压道次规范和旋轮运动轨迹	(724)
4.13 旋压机的试验研究	(649)	5.5.1 普通旋压的道次和旋轮运动轨迹 的确定	(724)
4.13.1 旋压机试验研究的类型、目的 和要求	(649)	5.5.2 强力旋压道次和旋轮轨迹的确 定	(739)
4.13.2 旋压机试验研究的主要内容	(650)	5.6 工艺装备的设计	(740)
4.13.3 旋压机的专项试验	(654)	5.6.1 旋压工艺装备的组成	(740)
第5章 旋压工艺	(671)	5.6.2 旋轮装置(旋轮头)的设计	(742)
5.1 旋压工艺设计的一般程序和要求	(671)	5.6.3 芯模的设计	(764)
5.1.1 旋压工艺设计程序	(671)	5.6.4 尾座顶紧装置的设计	(776)
5.1.2 旋压件设计图的制定	(671)	5.6.5 仿形板装置的设计	(778)
5.1.3 旋压方式的选择	(672)	5.6.6 辅助工艺装置的设计	(789)
5.2 毛坯的种类和要求	(673)	5.7 典型旋压工艺流程	(802)
5.2.1 毛坯的种类	(673)	5.7.1 气瓶旋压工艺流程	(802)
5.2.2 对毛坯的要求	(676)	5.7.2 汽车车轮轮毂旋压工艺流程	(805)
5.2.3 毛坯的处理	(678)	5.7.3 压力容器封头旋压工艺流程	(813)
5.3 毛坯的设计计算	(680)	5.8 工件的质量	(816)
5.3.1 普通旋压毛坯的计算	(680)	5.8.1 工件质量的主要内容	(816)
5.3.2 异形件强力旋压毛坯的计算	(696)	5.8.2 影响工件质量的主要因素	(816)
5.3.3 筒形件强力旋压毛坯的计算	(707)	5.8.3 工件尺寸精度和表面粗糙度	(816)
5.4 旋压成形工艺参数的选择确定	(709)	5.8.4 工件材料的金相组织和力学性 能	(825)
5.4.1 旋压变形工艺参数及其确定原 则	(710)	5.9 工件的缺陷产生原因及防止措施	(832)
5.4.2 旋压方向的确定	(710)	5.9.1 工件缺陷的种类	(832)
5.4.3 壁厚减薄率	(711)	5.9.2 工件表面起皮	(832)
5.4.4 主轴转速或旋压线速度	(715)	5.9.3 工件表面波纹	(833)
5.4.5 旋轮进给比 (f) 或进给速度 (v_f)	(717)	5.9.4 工件的裂纹	(834)
5.4.6 旋轮与芯模之间间隙 (C)	(718)	5.9.5 工件表面粘结现象	(835)
		5.9.6 旋压时工件反挤和鼓包	(836)

5.9.7 工件的起皱和开裂.....	(837)	6.3.3 锥形件剪切旋压功率计算	(943)
5.9.8 旋压过程中金属的堆积	(840)	6.4 筒形件变薄旋压旋压力的计算.....	(947)
5.9.9 工件中的残余应力.....	(844)	6.4.1 一般(共性)问题.....	(947)
5.10 旋压成形工艺经验	(851)	6.4.2 旋压力的计算.....	(961)
5.10.1 旋压成形技术的有关事项.....	(851)	6.5 影响旋压力的因素	(1009)
5.10.2 毛坯材料的有关事项 ...	(860)	6.5.1 锥形件强力旋压	(1009)
5.10.3 毛坯的有关注意事项 ...	(861)	6.5.2 筒形件强力旋压	(1015)
5.10.4 加工工具的有关事项 ...	(863)	6.6 尾座顶紧力的计算	(1020)
5.10.5 辅助加工的有关事项 ...	(864)	6.6.1 一般顶紧力的计算	(1020)
第6章 理论分析与试验研究	(867)	6.6.2 参与工件成形顶紧力的计算 ...	(1022)
6.1 变形机理的模型试验.....	(867)	6.7 旋压力的试验研究	(1025)
6.1.1 坐标网格法.....	(867)	6.7.1 旋压力能参数的电测试验	(1026)
6.1.2 金属物理分析法.....	(870)	6.7.2 旋压过程的模拟实验 ...	(1051)
6.1.3 填孔法.....	(871)	第7章 旋压加工实例.....	(1057)
6.2 金属材料的可旋性试验.....	(871)	7.1 旋压成形实例的标志、加工顺序和符号	(1057)
6.2.1 材料可旋性概念的数学表述 ...	(872)	7.2 各种旋压加工实例	(1058)
6.2.2 锥形件的可旋性试验.....	(872)	附录A 名词与符号	(1130)
6.2.3 筒形件的可旋性试验.....	(886)	附录B 旋压技术术语	(1131)
6.3 锥形件旋压力的计算.....	(892)	参考文献.....	(1137)
6.3.1 一般(共性)问题.....	(892)		
6.3.2 旋压力的计算.....	(910)		

第 1 章 旋压技术概况

1.1 旋压技术的发展

旋压工艺技术按其成形性质可分为普通旋压和强力旋压两大类。

1.1.1 普通旋压工艺的发展概况

根据文献资料的记载,我国在距今 3000 多年的殷商时代,就已经使用陶车、陶轮制作陶瓷制品。大约在十世纪,我们祖先就模仿陶瓷制坯的原理而发明出了手工金属普通旋压工艺,将一些金属(如银和锡等)薄片旋压成形制造出各种盘、壶、瓶、罐等容器、器皿和装饰品。我国出土的唐代银碗、银杯、锡酒壶和锡酒罇等器物表面留有旋压痕迹。因此,普通旋压成形工艺技术至少可追溯到唐代。

古老的旋压工艺技术以其模具、装置简单,易于制备,以及制品轻巧适用等特点,经历了千百年的洗练,得以沿袭传承而保存下来,至今在社会上一些行业(如搪瓷品、铝制品和灯具等制造)中还保留着较原始技术的痕迹。

直到 13~14 世纪,这项成形技术才传到欧洲各国,也用于加工各种容器和器皿。在英、德、俄和西班牙等国的一些资料中,也认定这项金属成形技术源自中国。

图 1-1 是欧洲中世纪的一幅木刻画,生动地描绘了古代手工旋压制作场景。在 1840 年前后,旋压技术经一个叫约旦(Jordan)人传到美国,并应用于民用制品加工中。在 18 世纪 60 年代末期,德国出现了第一个旋压成形技术专利。



图 1-1 中世纪手工旋压情景

具有悠久历史的手工旋压技术，是普通旋压的初级阶段，主要用于薄壁壳体成形，因受限于操作者的技术熟练程度和体力，其发展受到制约。手工旋压技术只能用于软质金属、小型和薄壁工件成形，其旋压模具、设备及工艺都较简单。

早期的手工旋压均以擀棒为工具。擀棒与坯料接触面较小，作用杠杆力臂长，较省力。我国的许多工艺品、铝制品、搪瓷品和灯具等制坯采用简易设备和手工“擀形”，制品质量尚好。1920年，美国曾使用手工旋压加工较高强度的材料，生产尺寸较大、形状复杂的工件。后来，人们采用金属旋轮（滚轮）代替木质擀棒，这是一个进步，因为旋轮使其与坯料变形区的摩擦由滑动摩擦转变为滚动摩擦，摩擦力显著减小，因此被广泛应用至今。

国内外普通旋压工艺长期处于落后状态，其原因可归结到设备方面。古老的旋压设备由人力驱动，如图 1-1 所示的左侧工匠靠人力摇动木轮使木质芯模旋转，右侧的工匠则用木擀棒加压使坯料成形。后来，由于利用水力和蒸汽作为动力，使之得到发展。随着工业技术的进步，尤其是电动机的出现，手工旋压机的主轴和芯模采用电动机驱动，旋压工具也改用金属旋轮，其生产状况便大有改观。在电动旋压出现前的很长时间中，旋压技术赶不上模具冲压技术的发展。因此，其应用范围十分有限，只能用于小批量生产和加工一些软质、薄壁金属制品，而且生产效率也很低，工人体力劳动强度很大。自电动旋压出现之后，情况大为改观了，技术上有了新突破，应用范围和加工能力得到扩大和提高。

自 20 世纪中叶以来，普通旋压有如下 3 个方面重大进展：一是普通旋压设备逐渐实现机械化，在 50 年代出现了模拟手工旋压的设备，即采用机械仿形和液压助力器等机构来驱动旋轮作往复运动，以实现旋轮的工作行程，因而大大减轻工人的劳动强度；二是在 60~70 年代，由于熟练旋压操作工人日益减少和旋压生产量日益增加，于是出现了旋压设备的液压传动和自动化，实现旋轮能作单向多道次和双向多道次工作进给，以及由电气和液压（包括液压仿形）的联合程序控制的半自动（毛坯上料和工件下料非自动化）和全自动（含自动上下料）的全自动旋压。这是一个大进步；三是由于近代电子技术的迅速发展和微型计算机的普及应用，在 60 年代末至 70 年代中，国外在自动旋压机的基础上发展了数控（NC 和 CNC）系统和录返/示教（自学习）系统（PNC）的高技术旋压机，实现普通旋压技术的现代化。

录返/示教系统旋压机，首先由英国查理斯·泰勒公司研制成功，随后德国莱孚尔特（Leifeld）和莱柯（Leico）公司开发出了 PNC 系列，瑞士 M&M 公司生产了 HF 系列、西班牙 DENN 公司生产了 TORC 系列，美国伊沟威尔公司开发了 T-M-T 系列等。这些录返旋压机，一般具有手柄操纵输入，还可应用计算机在线或脱机 CAD 设计、编程输入和记录。有的可以对旋轮与芯模间隙的自动校正，芯模拷贝、保护，以及故障自诊断等功能，并使过程优化。

德国 BOKÖ 公司和意大利 ZANI 公司又在数控和录返旋压机的基础上开发出了 TAL-CNC 系列旋压加工中心。德国莱柯公司也开发出了 ARC-CNC 系列旋压加工中心。这些旋压加工中心具有 4~6 数控轴和具有 CNC+PNC 的复合控制功能，更具柔性化控制，并设置有 6 工位转塔式旋轮头或换轮的工具库，可完成多功能成形。

这种数控、录返旋压机再配备自动上下料的机械手装置或由机器人操纵，便可置入自动生产线上使用，实现无人操作，进行大批量、优质高效生产。例如英国 IMI·Range 公司安装在生产线上一台由机器人操作的数控旋压机，加工热水缸的铜底，完成平板毛坯的拉伸旋压、翻边、修边和卷边等工作，由原来 400 件/班提高到 1200 件/班，效率提高了 3 倍，而

且质量好, 获得相当好的经济效益。

由上述可知, 旋压技术发展的重要原因之一是旋压设备在控制方面实现了由液压控制到数字控制的过渡, 尤其是数控通用和专用旋压机的加工能力, 包括多旋轮之间的协调、多轮多道次运动轨迹的设置与调节的能力, 以及各种特定辅助成形功能等的提高, 同时加工精度也大为提高, 满足各种加工的不同需要。

我国普通旋压工艺和设备经多年来的努力, 也取得了长足的发展, 尤其是在数控 (CNC) 和录返示教 (PNC) 旋压机研制开发方面取得了新突破, 达到了较高水平, 并被广泛应用。

1.1.2 国外强力旋压技术发展简况

在普通旋压技术的基础上发展起来的强力旋压, 于第二次世界大战前后开始用于欧洲如瑞典和德国的民用容器、器皿制造等行业中。随着科学技术的发展, 特别是 20 世纪 50 年代由于航空航天技术的迅速发展。旋压技术, 特别是强力旋压已在许多国家得到迅速的发展和应用。大体上说, 国外强力旋压技术的发展可分为四个阶段: 20 世纪 50 年代为初步发展和应用阶段, 60 年代为大发展年代, 70 年代为工艺和设备完善、稳定和定型阶段, 80 年代以后为工艺提高, 设备向数控化方向发展实现现代化阶段。

根据 20 世纪 80 年代美国 AD755876 报告, 在工业发达国家, 已经研制出大约 200 多种规格的旋压机, 其中许多已系列化。当时旋压设备的生产制造主要集中在美国、联邦德国、前苏联、日本、英国和瑞士等国, 其中美国以重型、立式设备居多。

美国大约从 1920 年开始应用手工旋压。1953 年, 美国普拉物·惠特尼 (Pratt Whitney) 航空发动机公司和洛奇西普来 (Lodge & Shipley) 公司合作设计制造了首批 3 台专用强力旋压机, 用于飞机零件加工。随后的 20 多年, 随着新兴的火箭导弹和航天工业技术的发展, 金属旋压技术已在军用和民用工业中得到广泛的应用。据当时的不完全统计, 美国至 1958 年生产的旋压机就有 1375 台, 而到 1963 年增加到 2000 多台。在美国当时制造旋压机的公司就有 15 家以上, 其主要的设计制造公司有洛奇西普来、辛辛纳提 (The Cincinnati Milling Machine) 和赫福特 (Hufford) 3 家。

洛奇西普来公司设计制造的旋压机有 Floturn 12、Floturn 25、Floturn 40、Floturn 60、Floturn 70、Floturn 80 等通用型强力旋压机和卧式精密管材旋压机等, 辛辛纳提铣床公司设计制造的旋压机有 Hydrosin 26、Hydrosin 32、Hydrosin 42、Hydrosin 60、Hydrosin 62、Hydrosin 75 等型, 赫福特公司设计制造的旋压机有 Hufford 60、Hufford 120、Hufford 166 和 Hufford 171 型等 (均为重型立式)。另外, 美国伊沟威尔 (Eagleware) 公司也设计制造了 Autospin 系列程控和数控旋压机, 并可提供自动旋压生产线。

美国的重型旋压机大都为立式的, 结构型式也较特殊, 设备动力和刚性也特别大, 其中立式旋压机有 Floturn 80 型 (三旋轮)、Hydrosin 75 型 (双旋轮)、Hufford 60 型 (双旋轮)、Hufford 120 型 (双旋轮) 和“绿色巨人”型 (三旋轮) 等。立式“绿色巨人”型由 15 个公司合作研制, 不论设备动力 (旋压力横向为 5400kN, 纵向为 2710kN) 和加工能力 (可旋压直径 6m、毛坯厚度达 127mm 的钢板, 工件直径 2200 至 4060mm, 长度达 6.1m), 其设备规模尺寸 (全高 12.2m) 和重量至今还是世界上之最的一台旋压机。此外, 还有一台可旋制直径 3050mm、高度 3.5m 火箭发动机壳体的内旋压机。

由于强力旋压工艺技术经济的优越性, 20 世纪 50 年代它在美国军工部门被广泛应用而得到迅速发展, 当时采用的有波音 (Boeing)、格鲁门 (Grumman)、莱康明 (Lycoming)、

索拉 (Solar)、马夸特 (Marquadt)、福特 (Ford) 和通用电气 (General Electric) 等许多大公司, 它们都用于大量旋压件的生产。采用的旋压材料有铝合金、碳钢、合金钢、不锈钢以及高强度钢、高温难熔金属。航空工业部门用于生产喷气发动机零件, 如 J57、J75 等型的机匣、支承锥盘、涡轮轴、火焰筒衬套和尾喷管等; 新兴的宇航工业部门用于生产“探险者”卫星、“大力神”洲际导弹、“北极星”导弹、“包马克”导弹及土星飞船等壳体、鼻锥、钟形件、半球形燃料容器封头、筒形燃烧室、拉伐尔喷管和抛物线形扩散型发动机喷管等。

到了 20 世纪 60 年代, 强力旋压这门工艺技术在美国得到进一步发展和应用。例如洛奇西普来公司为阿波罗 (Apolloy) 宇宙飞船助推火箭发动机加工直径 635mm、最大长度达 30m 的无缝液体氧的输送管。通用电气公司为“民兵”洲际导弹加工直径 1600mm、长度 2700mm 的壳体。NTW 导弹工程公司用内旋压法加工直径 3000mm、长度 3460mm 的“大力神”ⅢC 导弹壳体。通用电气公司还批量生产了 J79 型飞机发动机涡轮轴、B58 发动机罩和 AAS 飞机的炸弹架锥体等, 还有许多兵器中炮弹的破甲弹零件、火箭发射筒、远程海岸大炮炮管、海军鱼雷壳体、雷达抛物线天线等制品。王昌 (Wang Chang) 公司用热旋压加工钨管、钼管, 用张力旋压加工直升飞机和街灯的长锥形管等产品。此外, 美国在旋压工艺、理论分析和试验研究方面进行了大量、系统的研究工作。发表了不少学术论文和技术专利。

在当时, 其他国家如联邦德国、前苏联、英国和日本等也大力开展对旋压技术的研究开发, 其中包括旋压工艺和设备、材料的可旋性、变形机理、旋压件的物理性能和各种缺陷现象, 以及旋压变形力学分析计算和试验研究等。

德国旋压技术发展得非常迅速, 至今已有 100 多年历史了, 尤其在 20 世纪 50 年代以来发展更快, 如 Leifeld 公司和 Leico 公司已设计制造了几十种系列旋压设备产品, 是当今世界上系列化最完整、最齐全和技术性能最先进的旋压设备产品, 畅销世界 50 多个国家和地区, 并积累了丰富的设备设计制造和使用工艺的经验。德国旋压设备专业公司主要有莱孚尔特公司、波柯公司、WF 公司和后起的莱柯公司等。

德国旋压机主要是中、小型通用型和专用型, 且多为卧式, 后来也设计制造了如 PLB1800 型、PNC1800 型、BOD47 型、BOD58 型以及 VDM4000 (立式) 型、VDM5000 (立式) 型和 VDM6000 (立式) 型等重型旋压机, 并于 20 世纪 70 年代开发了系列数控 (CNC) 和录返 (PNC) 旋压机。莱孚尔特和莱柯公司生产旋压机有普通旋压机和强力旋压机, 其主要系列有 PLB、APED、ST、AFM、VRM、SE、ATM、AUS、FBF、PR、BOD、VDM (立式、封头) EN (气瓶)、AFM (轮钢)、ST-DK (轮辐)、VRM (带轮)、FBF (包装桶)、St-CNC (三轮数控) 及 PNC (录返) 等。波柯公司主要系列有 D-H (单轮在前侧)、D-RH (单轮在后侧)、D-HRH (双轮在前后侧)、D-CNC (单轮数控)、2D (双轮)、3D (3 轮液压仿形)、3D-CNC (3 轮数控)、3D-V (3 轮立式) 和 P111b (双轮) 等。

德国提森 (Thyssen) 机械制造公司于 20 世纪 80 年代末设计制造一种新型立式数控对轮重型旋压机, 用于加工大直径精密运载火箭壳体, 其主要技术参数: 可加工直径范围 2400~3200mm, 主轴转速 2.4~24r/min, 旋压力径向 1600kN、转向 800kN, 传动功率 1300kw, 进给速度径向 $\leq 15\text{mm/min}$ 、纵向 0.2~4mm/r。该设备为 16 数控轴, 4 对旋轮, 可加工材料为 D6AC 高强度钢的工件, 毛坯直径 3070mm、壁厚 80mm 工件, 经二道次无中间退火加工, 减薄率达 90% (80→46mm, 46→8mm)。这种设备的特点是无芯模、精度高、变薄率大、效率高和加工成本低等。

西班牙 DENN 公司创立于 1885 年,从事旋压设备制造已有 100 多年历史,也是世界上最早的旋压设备专业产商之一,目前旋压机产品系列较完整齐全,主要有 TORC 系列(普旋)、RLE 系列(双轮强旋)、RC 系列(3 轮强旋)、CTA 系列(气瓶热旋)和 MP(带轮)等。以上系列中有该公司的新一代数控(CNC)设备。TORC 系列数控录返(CNC+PNC)控制具有手柄录返输入和机外计算机 CAD/CAM 编程输入显示,也可以用电子光笔绘图编程及成像显示,另外还具有芯模拷贝、安全保护以及故障自诊断等功能。该公司的旋压机大多是卧式,且中小型居多。

日本从 20 世纪 50 年代以来,对旋压技术的发展也十分重视。据报道,日本设计制造旋压机的公司主要有寺田铁工公司、三菱重工公司、富士机器制造公司、三井物产有限公司、日本主轴制造公司和日本 M 公司等。日本各工业部门中广泛应用旋压工艺和设备。据日本塑性加工学会旋压分会对大中小公司产品的调查表明,在被调查的产品中有一半以上采用旋压法加工。此外,日本对旋压工艺、变形理论分析和试验研究方面也进行了许多研究工作。

前苏联自 20 世纪 50 年代以来,同样大力发展旋压技术。对其工艺、理论分析方面进行许多研究,旋压机的数量成倍地增加,满足其航天工业和军事工业发展的需要。基辅机床厂和第比利斯机床厂于 50 年代分别生产了如 3P-53 型和 TT-53 型旋压机。建筑、筑路和公共机械制造工艺设计研究所也设计制造了 $\pi\Delta O-2$ 型、 $\pi\Delta K-1$ 型、 $\pi\Delta K-2$ 型和 801·079 型等半自动旋压机。在 20 世纪 70~80 年代,其旋压技术发展的一个动向是:除了设计制造新型旋压机外,还将当时现有的半自动车床和数控机床改装成旋压机。这种技改方法具有如下特点:一是利用现有机床,不要另设计制造新型昂贵的自动旋压机,从而既能发挥现有设备的潜力,又能节省资金;二是数控车床改装为旋压机较为容易,一般只需更换程序和工艺装备等;三是程序是以数字形式编制的,生产准备工作主要由工程师来完成,这个程序编制过程可借助计算机进行。

众所周知,俄罗斯是世界上航天和军工发达的强国,可是正规的,尤其是重大型的旋压设备技术报导甚少。

瑞士靳尼(Jenny)压力机有限公司,于 20 世纪 60~70 年代设计制造了旋压机,多为单旋轮液压仿形的。后来也生产了重型、三旋轮强力旋压机。据报导其设备刚性甚好,适于重载下旋压加工。瑞士豪伊斯勒(C·Haeusler)公司于 20 世纪 70~80 年代也设计制造过 HBM-Y 型全液压封头翻边旋压机,可加工平底封头、2:1 的椭圆封头和其他压力容器封头。其适用厚度 2.4~3.2mm 的钢板毛坯,采用加热旋压毛坯厚度可达 102mm,封头最大直径达 7315mm。

意大利博尔德林尼(BOLDRINI)公司和发胜(FACCIN)公司于 1959 年先后开始设计制造二步法封头旋压机。前者于 20 世纪 70 年代生产了多种型号的旋压机,其中有 RIBO10S、RIBO18、RIBO24、RIBO25 和 RIBO30 等。后者 PPM 系列有 4~5 种型号压鼓机,BF 系列有 8~9 种型号翻边机,其最大加工直径达 7000mm,最大热旋壁厚为 150mm,典型封头尺寸为 $\phi 4600 \times 90$ mm。我国石油化工机械制造厂已进口 20 多台套这种二步法封头旋压机。

综上所述,国外金属旋压技术发展很快,不论设备还是工艺都已日趋成熟完善,旋压技术在很多国家已被普遍采用,国外旋压制件尺寸达直径 3~5000mm、壁厚 0.1~200mm,长度与直径之比达 20 以上,直径与壁厚之比大于 750,旋压筒形件最大直径 7600mm、最大重量 60t。

热旋压工艺可显著扩大加工范围,提高设备加工能力,又可满足难变形金属的塑性成形。国外用冷旋压 25mm 厚毛坯的旋压机可热旋压 137mm 厚毛坯。热旋压同样工件,旋压

力降低近一半。对于钛合金、镁钛合金、铌、钽、钼和钨合金等均可进行加热旋压。

1.1.3 国内旋压技术发展概况

我国是普通旋压技术的发源地，已有悠久的发展历史，至今这项传统工艺仍在铝制品、搪瓷制品、灯具、景泰蓝和乐器等行业中应用。虽然大多是在较为简易的设备上依靠手工进行操作，但由于其工模具简单、易于制备，且轻巧适用、易于变换等特点，至今还是薄壁制品生产的一项不可或缺的工艺方法。而这种落后状态，有待于从事旋压技术的工程技术人员共同努力去改变。

我国旋压技术真正起步于 20 世纪 60 年代中期。60 年代中期至 80 年代中期的前 20 年为初创期。在此期间，我国开始研究变薄旋压技术。首先是航空部 625 研究所开始对强力旋压工艺和设备研究，其主要是将这项技术用于航空产品生产。其后不久，原冶金部北京有色金属研究总院和机械部西安重型机械研究所也相继开始研究这项技术，主要用于制造航空及导弹、火箭等特殊冶金产品。同时为满足当时国家急需项目而自行研制、开发出一批中、大型电气液压联合控制的旋压设备，其中的不少设备一直使用至今，发挥了很好的作用。例如用于加工飞机副油箱、导弹壳体、喷管、潜望镜管和大口径无缝铝筒等。接着，此项技术又被陆续推广到兵器、核能、电子等行业，其后有兵器长春 55 研究所、东北重型机械学院、青海重型机床厂、哈尔滨工业大学及北京航空学院等单位也开始这项技术开发研制工作，其主要为兵器中旋压制品、压力容器封头等加工提供旋压设备及工艺。加热旋压对粉末冶金烧结材料与铸造材料的开坯，以及钨、钼、铌、锆、钛及其合金等难熔金属材料制品的成形也取得了许多成果。在这一时期，我国旋压技术的发展是以强力旋压为主并以军工产品为主线。旋压技术以其对某些特定材料与产品加工的不可替代性和优越性，既作为常规的锻压生产的补充又与其平行发展，在我国国民经济中确立了自己的地位和作用。

自 20 世纪 80 年代中期到现在的 30 多年，是我国旋压技术的转型和发展期。在这期间，我国旋压技术的发展由强力旋压为主转为强力旋压与普通旋压并重，由以军工产品为主线转为军民制品兼顾，而旋压设备的控制则由电液联合程控（以液压仿形为标志）转向数字控制。在普通旋压领域，首先出现了液压仿形的程序控制，实现旋轮的往复、多道次摆动的自动旋压机，从而使普通旋压有个新飞跃，摆脱了原始繁重的手工操作状况，产品质量和生产效率均得到了显著提高。在电液程控普旋机床研制开发方面，北京 625 研究所研制了 PX-1、SY-2、SY-2A 等型，福建机械科学研究院开发了 PXC 系列（13 种型号），长春 55 研究所开发 PX 系列等，以上设备由液压仿形和 PLC（可编程控制器）联合程控，适用于灯具、厨具、分离机和风机等行业。在 2000 年之后，由北京金时特科技有限公司和青岛高校重工机械制造有限公司先后成功开发出数控、录返（CNC+PNC）普旋机床；广东惠州市博赛数控旋压机床有限公司开发数控普旋、强旋、特殊旋压成形等 50 多款机型，并可根据客户需求，实现专机定制，已涉足 30 多个不同行业领域，拥有近万种产品的成形经验。这些设备技术先进、性价比高而深受用户欢迎，除了满足国内需要外，还有一定量的出口，扭转了过去从国外进口的局面。由此可见，我国普通旋压技术发展已有了新突破，初步实现现代化，缩小了我国旋压技术与国外先进水平的差距。

普通旋压和强力旋压技术除了在军工部门得到许多应用，在许多民用行业中也得到较广泛应用，用于生产各种机械设备的壳体、罩盖和机件，矿用液压支柱缸体，印刷机胶筒，复印机铝鼓基、街灯杆，气瓶和瓶胆，大型容器封头，汽车轮辐、轮辋，灯具，家用容器和器皿，棒球棒、标枪杆，景泰蓝铜坯，乐器小号嘴等上千种产品。此外，国内还成立了专门从

事旋压制品生产的专业企业，例如生产压力容器封头、汽车旋压制品（轮辐、轮辋、带轮、消音器等）、高压电开关附件等企业。

下面以几项典型的旋压产品为例，对近 30 年来应用情况作简要的介绍。

(1) 小号号嘴旋压。长期以来国内乐器小号号嘴是用手工普通旋压加工，号嘴边厚、帮薄、音色欠佳。20 世纪 80 年代末北京某乐器厂开发了用变薄旋压和普通旋压联合成形技术，达到边薄帮厚的效果。经鉴定小号音色超过某进口名牌。现在该产品还有一定的出口。

(2) 瓶胆旋压。近年出现的复合材料缠绕的铝合金瓶胆气瓶，以其重量轻、安全可靠、在汽车、采矿、消防、医疗以至登山、潜水等方面有着巨大应用潜力和日益增长的需求。气瓶铝合金瓶胆采用管料或预成形坯料，经变薄旋压变薄延伸，再经普通旋压的热收口和封底等过程成形。现在国内几个地方建立生产线投入批量生产。而形状与此相仿而更为小型化的真空不锈钢保温杯、壶也是近年来流行的新产品，有着巨大的需求。

此外，工业用的钢质气瓶也是一种量大面广的产品，目前国内已有多家厂家开发生产各种规格气瓶产品，其中最大的直径为 600 毫米，长度达 12 米，属国内最大型的，供作储气之用。

(3) 带轮旋压。带轮在汽车中被用于带动主轴、水泵、压气机、发电机、空调、转向器、风扇等。此外还用于农业机械、纺织机械和洗衣机中。随着国民经济的快速发展，对带轮的年需量从 20 世纪 90 年代估测的百万件跃升到如今的千万件以上。旋压带轮以其减重、节材、高精度、高表面质量、高工效及良好的平衡性能等在国内得到了成功推广和大规模应用，取代了传统的铸铁机械加工、板材冲压和液压胀形的带轮。旋压生产的带轮有折叠式、劈开式和多 V 齿式，以及它们的组合式等几种，不仅满足国内的需要，还有部分出口。

我国所开发研制的程控和数控，带轮旋压机大多为立式，且已系列化。有的已达到国际先进水平。目前全国拥有总台数已超过百台，年加工产品量达千万件以上，产值逾亿元。由于国内汽车产量日增及配件出口的需要，优质带轮产品供不应求。

(4) 车轮旋压。旋压钢质车轮（由轮辐、轮辋等组成），主要用于载重车和大客车，近年来日益流行的旋压铝质车轮（组合式和整体式）主要用于小轿车。这些新型车轮通过变薄旋压可以实现等强度（经济截面）设计，达到减重（可减 10%~15%）、延寿、节能和提高承载能力的目的，所以技术经济效益十分显著。

目前主要由山东、河北、江苏、福建、浙江、湖北和吉林等地企业引进旋压生产线进行钢质车轮生产，供国内外之需。整体铝质车轮也引进了生产线生产，采用锻坯经劈开式旋压、变薄旋压和普通旋压成形的组合工艺，产品主要供出口。现在全国旋压车轮年产量超百万件套，年产值达数亿元。

(5) 封头旋压。大型封头为石化、动力锅炉、冶金、建筑、铁路油罐车、纺织、食品、城市公用设施等多种行业所必需。初估国内年需量为 5~10 万件以上。有的因其运输困难又要求就地生产。大型封头旋压，主要是二步法成形（板坯压鼓—旋压翻边）和一步法成形（多道次普通旋压），具有节省大型模具、减少模具存放场地及缩短试制周期等优越性，并取代了传统的热压和拼焊工艺。目前国内开发研制三步法旋压设备已系列化，最大可旋压封头直径达 7.5m，产品还惠及南水北调、2008 年北京奥运场馆建设及神州 2 号地面工程等项目。一步法旋压即一步成形，即具有减少工件中转、缩短工时、减少设备占地面积等优点，目前系列设备最大可加工直径达 5m。目前包括引进设备在内，国内拥有大型封头旋压设备

已超过 60 台, 年产值 10 多亿元, 为国民经济建设作出了贡献。

此外, 30 年来, 旋压技术在我国军工方面的应用也不断扩大, 完成了包括各种大直径超高强度钢和高强度铝合金壳体的旋压。近年来还完成了 β 钛合金筒体的旋压, 大直径铝合金带环形内筋的曲母线形壳体与筒形壳体的旋压。前者带内筋曲母线壳体是采用组合模的外旋压法成形, 而后者带内环形筋则是采用内旋压法。

1.1.4 国内旋压技术的新进展

我国在 20 世纪 70~80 年代从国外引进一些液压程控旋压机, 20 世纪末至 21 世纪初引进一批数控旋压机, 加强了国内旋压加工能力, 同时对我们引进消化吸收起了一定作用。

我国旋压技术在军工和民企的应用面得以扩大的重要原因之一就是 30 年来我国的旋压设备制造业在设备的控制方面实现了由液压控制到数字控制的过渡, 尤其是近 10 多年来国产数控通用型和专用型旋压机的生产能力得到了迅速提高。旋压机的数控使多旋轮之间的协调、旋轮多道次运动轨迹的设置 (CAD/CAM 设计) 与调整等问题都得以迎刃而解, 并使产品的精度提高到一个新的档次。近 10 多年来由于数控技术的发展与普及以及市场机制的变化, 数控系统相对液压系统的价格差减小, 在大型设备的总值中所占比重显得不太大, 因而数控系统的优越性更为凸显了。现在, 可以便捷地在市场上选购到成套的进口精密数控系统, 滚珠丝杠、滚动导轨和电液比例伺服驱动系统, 先进的主轴变频或伺服调速系统等等。再加上计算机 CAD 辅助设计的运用以及零部件配套市场的完善, 使设备的研制周期大大缩短。例如一台中型通用型旋压机的交货期由 20 世纪 80 年代的 3~5 年缩短到现在的一年以内, 而其成本可为国外同类设备的 $1/3 \sim 1/2$ 。国内一些有多年经验的旋压设备研制单位, 基本上有能力提供符合要求的当代数控旋压设备, 除特殊需要以外可以替代进口, 而且还可以出口。

近 10 多年来有一个新动向就是国内老旋压设备的改造。国内已有大、中型旋压机中多数为液压控制, 有的服役期已达 20~30 年。还有一些进口的老设备, 原生产厂商已不存在, 图纸也不齐全。这些设备多属专用机床, 本机及工装的体积较为庞大, 造价较高。采用改造更新的优点是地基、床身、工装均可再利用, 比再添置新设备可节省 60%~80% 的费用。国外在 20 世纪 90 年代已有不少小公司专门开展这方面工作。现在国内有些单位也开展这项业务, 对一些 20 世纪 70 年代国产和进口旋压机进行改造, 其中还包括对现有设备中功能缺项的补充完善。例如 20 世纪 90 年代华北工学院为进口的数控气瓶收口机开发自动编程系统以代替原来手工编程, 收到良好的效果。

在旋压技术应用范围不断扩大的情况下, 自 20 世纪 90 年代以来, 我国陆续制订和颁布了一些行业标准, 包括航空行业的变薄旋压标准、航天行业的发动机旋压壳体制造与验收标准、机械行业的旋压工艺编制与产品设计标准, 以及旋压机的企业标准, 此外还颁布了一些行业制品标准, 如旋压封头和旋压带轮的行业标准。这些标准的实施促进了旋压技术在相关行业中的有序发展。

20 世纪在锻压界的一个现象是国外锻压界老一代学术权威, 如美国 B·Avitzur、日本 S·Kobayashi、德国 R·Kopp 等教授不约而同地以“旋压”作为博士论文课题。我国锻压界不少知名教授后来也介入旋压理论研究。30 多年来北航、西工大、哈工大、华北工学院、燕山大学及华南理工等院校进行了大量旋压理论分析、研究工作, 提供了博士和硕士论文数十篇。这些研究对于认识旋压过程、旋压工艺参数的选择、旋压设备所需力能参数的确定, 以及排队旋压缺陷、提高旋压制品质量等起了重要的作用。近年来的理论研究对三维有限元

动态分析,对过程的模拟和图像演示,从定性上分析每个瞬间、每个微小区域的应变应力以及受力和变形情况,有了初步效果。总的来讲,我国旋压理论与生产实践有了较好的结合。

综上所述,半个世纪以来,特别是改革开放 30 多年来,我国旋压技术进步迅猛,在军工和民用中的应用不断扩大,旋压产品在许多行业成为不可替代的关键产品,创造了很大的经济效益。今后国内旋压技术发展动向可归纳为如下几个方面:国产数控和录返旋压机研制能力的形成;带轮、封头、气瓶等旋压产品的批量生产与产业的形成;军工产品新结构、新材料、新设备的开发;国产旋压产品与旋压设备的出口;先进旋压设备与生产线的引入及开发重大设备满足新需求。老旧旋压设备的技术改造;有关旋压行业标准的制订。旋压理论研究范围的扩大和深入。

在为我国旋压事业的进步而高兴之余,还要看到我们的不足,与国外先进水平相比较,国产旋压设备的系列化、商品化、自动化,装机水平,扩大旋压的应用领域,新的旋压产品及工艺的自主开发等方面都还存在不小的差距。

展望未来,随着技术进步和经济发展,我国旋压产品的种类必将增多,旋压制造业也必将在我国国民经济中发挥更大的作用。为进一步促进我国旋压技术的发展和缩小与世界先进水平的差距而努力。

纵观国内外旋压技术的发展,其工艺和设备发展动向可归纳如下几点:把旋压机推向数控化,实现强力旋压机的数控和普通旋压机的数控或更为柔性化的数控录返控制;大大提高旋压机的运转速度,最大限度地实现高的生产效率;实现旋压生产过程全自动化,由机械手或机器人操作完成自动上下料或实现无人操作;旋压设备实现多功能(主成形和多辅助成形)的旋压加工中心,完成工件的完整加工,并纳入生产线上使用;旋压设备向着全自动、高精度和大型化方向发展。

1.2 旋压工艺的特点

旋压是一种综合了金属压力加工中挤压、冲压拉深、环轧、横轧、弯曲和滚压等工艺特点的少无切削加工的先进工艺。这种工艺方法在国外名称繁多,大都因强调某一个方面而命名,例如称为流动旋压(Floturning)、液力旋压(Hydrospinning)、旋转旋压(Spinforging)、旋转挤压(Rotary Extrusion)、滚轧成形(Roll Forming)、剪切旋压(Shear Spinning)、变薄旋压(В61даыцъание Сумоненнеи)和旋转拉深(Ромоионая ы61мяжка)等。为了统一技术术语和反映这种加工方法的共性,我们还是采用我国传统称法总称为旋压。旋压又分为普通旋压(普旋)和强力旋压(强旋),强力旋压又称为变薄旋压。旋压加工设备称为旋压机或旋压机床,并将其划入金属压力加工设备和工艺门类中。

1.2.1 技术特点

旋压工艺具有如下显著特点。

1. 变形区面积小,变形力能小,单位压力高

在旋压过程中,旋轮(或钢球)对毛坯逐点压下,近似于点接触,因此接触面积小,而单位压力可达 25~35MPa 甚至更高。适于加工高强度难变形材料,而且所需总变形力和变形功率都较小。例如,旋压直径 1800mm 圆筒子,旋压力为 330kW,而主轴驱动功率只需 110kW;旋压封头直径 4200mm,毛坯为厚度 25mm 碳钢钢板,或厚度 15mm 不锈钢钢板,其旋压力横向 400kW、纵向 300kW,主轴功率 55kW。然而,周期式轧管机上轧制直径