

北京有色金属研究总院建院55周年系列丛书

旋压技术 与应用

 赵云豪 李彦利 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



上架指导：工业技术 / 机械工程 / 锻压

编辑热线：(010)68351729

- ISBN 978-7-111-22452-5
- 封面设计\电脑制作：王奕文

地址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037
联系电话：(010) 68326294 网址：<http://www.cmpbook.com> (机工门户网)
(010) 68993821 E-mail: cmp@cmpbook.com

定价：28.00元

ISBN 978-7-111-22452-5



9 787111 224525 >

北京有色金属研究总院建院 55 周年系列丛书

旋压技术与应用

赵云豪 李彦利 编著



机械工业出版社

书中阐述了普通拉深旋压、缩径和扩径旋压的变形特征；变薄旋压机理；变薄旋压工艺；特殊旋压工艺；旋压件质量控制；产品缺陷分析和消除措施；旋压设备及工装；工艺要素与变形；旋压技术实施；材料与产品；工艺实例。论述侧重实践与应用，可供从事旋压工作的研究人员、技术人员及相关专业的大专院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

旋压技术与应用/赵云豪, 李彦利编著. —北京: 机械工业出版社, 2007. 11

北京有色金属研究总院建院 55 周年系列丛书

ISBN 978-7-111-22452-5

I. 旋… II. ①赵…②李… III. 旋压 IV. TG386

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 152491 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 刘彩英 责任编辑: 郑 铨 版式设计: 张世琴

责任校对: 李秋荣 封面设计: 王奕文 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷 (兴文装订厂装订)

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 8 印张 · 310 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-22452-5

定价: 28.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 68351729

封面无防伪标均为盗版

前 言

旋压技术是加工金属回转体的塑性成形方法，具有局部连续塑性变形的特征。经多年从事旋压技术的试验研究，对回转体成形和塑性变形初有认识，有幸参阅老旋压工作者的相关资料，经过参与《铝合金加工实用技术手册》筒形件旋压内容的编写和《中国材料工程大典》中旋压加工技术的撰稿，为编写此书奠定了基础。

早期，陈适先先生率先将国外旋压技术资料翻译、出版，拓宽了旋压工作者的眼界，为国内旋压技术的发展奠定了理论基础。1984年，徐洪烈教授将旋压事例与理论有机结合，撰写了《强力旋压技术》一书，在提高旋压技术水平的基础上，指导了旋压技术的进展。1985年，王成和等人编写了内容丰富的《旋压技术》一书，对旋压设备进行了详细的介绍，为旋压技术的应用提供了参考。1986年，陈适先等人从理论到实践较全面而精辟地论述了旋压技术，出版了《强力旋压工艺与设备》一书，促进了国内旋压技术的新发展。

旋压技术有限的参考书籍，已满足不了快速发展的旋压技术的需求。为适应旋压技术不断发展的新形势，及时总结旋压实践经验，提高旋压工艺技术水平，我们编写了《旋压技术与应用》一书，旨在为同行参阅提供方便，促进旋压技术广泛的应用和发展。

本书借鉴了历届旋压文集的成功案例，丰富了相关内容。本书得到白明本与陈适先先生的指导，李发全先生的帮助，对此，一并深表感谢。

限于作者的水平与时间，书中难免有缺点与不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 发展与概述	1
第一节 发展简介	1
第二节 工艺分类	5
第三节 应用领域	9
第二章 普通旋压	13
第一节 变形特征	13
第二节 拉深旋压	15
第三节 封头成形	18
第四节 局部成形	24
第三章 变薄旋压机理	33
第一节 筒形件变形	33
第二节 异形件变形	44
第三节 力能参数	51
第四节 机理简述	56
第四章 变薄旋压工艺	58
第一节 工艺分类	58
第二节 锥形件旋压	63
第三节 筒形件旋压	67
第四节 复合旋压	73
第五节 钢珠旋压	73
第六节 内径旋压	76
第七节 错距旋压	78
第八节 精整抛光	79
第五章 特殊旋压工艺	81
第一节 带轮旋压	81
第二节 曲母段旋压	83

第三节 椭锥件旋压	84
第四节 环形轮旋压	86
第五节 张力旋压	86
第六节 齿肋旋压	87
第七节 螺纹旋轧	88
第八节 车轮旋压	89
第九节 多轮旋压	92
第十节 无模旋压	93
 第六章 旋压件质量控制	95
第一节 金相组织	95
第二节 力学性能	99
第三节 尺寸精度	100
第四节 表面质量	104
第五节 残余应力	105
 第七章 缺陷的种类与控制	109
第一节 缺陷的种类	109
第二节 缺陷的控制	115
第三节 消除措施	121
 第八章 设备及工装	122
第一节 旋压设备	122
第二节 工艺装备	129
 第九章 工艺要素与变形计算	141
第一节 旋压坯料	141
第二节 筒体件变形计算	143
第三节 异型件变形	147
第四节 工艺参数优化	150
第五节 尺寸精度	154
 第十章 旋压技术实施	159
第一节 工艺选择	159
第二节 工艺设计	163
第三节 设备选择	166
 第十一章 旋压材料与产品	182

12	第一节 有色金属	182
08	第二节 钢材	187
08	第三节 典型产品	191
78	.....	
	第十二章 旋压工艺典型实例	198
08	第一节 普通旋压	198
50	第二节 剪切旋压	201
00	第三节 流动旋压	212
	附录 A 典型旋压金相组织图	223
	附录 B 旋压技术交流会论文目录	232
	参考文献	246
001	.....	
401	.....	
201	.....	
001	.....	
001	.....	
111	.....	
151	.....	
551	.....	
551	.....	
501	.....	
161	.....	
191	.....	
081	.....	
171	.....	
130	.....	
121	.....	
051	.....	
051	.....	
081	.....	
001	.....	
581	.....	

第一章 发展与概述

第一节 发展简介

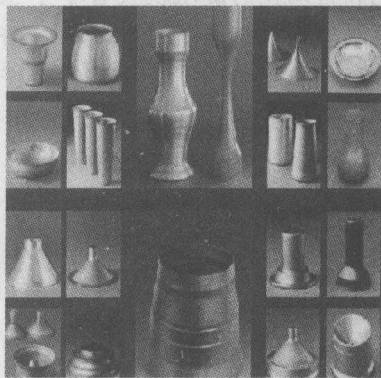
一、历史概述

旋压技术的特征与制作陶瓷坯相近，有源于中国之说。早在公元前 3500 年至 4000 年的殷商时代就已采用旋轮制作陶器形体；当今，我国陶瓷器的加工仍保留旋压技术的特征。这种制陶工艺于 10 世纪移植孕育出金属旋压工艺。我国唐代银碗的表面有旋压痕迹，普通旋压成形技术可追溯到唐代。

古老的旋压技术以其模具简单、易于制备、产品轻巧适用、容易变换等固有特点，经历了千百年时间的洗炼，得以沿袭和保存下来。13 ~ 14 世纪之交，旋压成形技术传入欧洲，图 1-1a^[1] 为欧洲中世纪木刻，其中显示出古代手工旋压的场景。18 世纪 60 年代德国出现了第一个金属旋压专利技术，其后的旋压技术水平居世界领先地位。德国 Leifeld 公司部分金属旋压制品见图 1-1b。



a) 古代手工旋压的场景



b) 部分金属旋压制品

图 1-1 旋压的发展

1840 年，旋压技术经约旦传到美国。第二次世界大战前后，在普通旋压技术的基础上发展了强力旋压，即变薄旋压技术。20 世纪中叶，旋压技术有了重大进展，旋压设备逐步现代化，电器与液压程序控制了旋压机运作，并在自动旋压机的基础上发展了数控与录返系统。

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

体的批量生产；因受限于操作者技术的熟练程度和体力，发展受到制约。手工旋压技术多用于低强度金属小规格薄壁工件的成形，其旋压工装及工艺特征较简单。

手工旋压常以擀棒为工具，擀棒接触面积小、力臂长、省力。我国的工艺品制胎和铜铝制品曾采用手工旋压成形，产品质量尚好。1920年，美国曾使用手工旋压技术将强度较高的材料，加工成形尺寸规格较大的复杂工件。

与擀棒相比，旋轮旋压成形则使坯料变形区的摩擦力显著减少，并被广泛应用。旋轮用于简单拉深旋压时，工件轴线与机床轴线平行。旋轮用于板坯多道次拉深旋压时，旋轮与机床轴线呈一定攻角，旋轮外圆弧部分可减少板坯起皱倾向。旋轮外径常用范围是 $\phi 70 \sim \phi 250\text{mm}$ ，较小规格旋压件选小值。自动化的旋压技术，弥补了手工旋压的不足，并逐渐替代手工旋压。

旋压技术发展的原因之一是旋压设备制造业在控制方面，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研制能力得到了迅速提高。旋压机的数字控制使多旋轮之间的协调，多道次旋轮轨迹的设置与调整得以解决，产品的精度不断提高。在20世纪80年代末，我国有了第一代数控旋压设备^[1]。

近些年来，随着国内航空和航天事业的发展，金属旋压技术发展很快，机械化和自动化的旋压机代替了手工旋压机，满足了大批量不同规格旋压件的生产需求。通过对旋压过程受力的研究，研制了专用机床及自动控制系统，经采用多种加热手段，旋压技术在生产效率和经济效益方面明显提高，在特定条件下优于冲压方法，并得到广泛应用。

在机器制造业中，各种耐酸、耐热、高强度材料的轴对称空心锥体、筒体和曲母线工件的成形，以及大径厚比高压壳体的成形，选择旋压加工是合理的。液压伺服传动装置装备于旋压机，增加了设备的加工能力，可以成形塑性变形难度大，传统工艺难以制作的工件。典型国产三旋轮卧式液压旋压机见图1-2所示。

按机械化和自动化程度不同，旋压机有液压仿形旋压机、CNC数控旋压机。计算机数控旋压机容易使工艺参数有机配合，其加工精度高、转换快，可满足高精度工件加工需求。数控旋压机既可减轻劳动强度，也可改善工作环境，代表了旋压机的发展水平与方向。

旋压加工工艺，按工件壁厚变形程度的差异，可分为普通旋压和变薄旋压。与之相应的旋压机床可分为普通旋压机和强力旋压机，两类机床均可实现自动控制。

机器制造业和各工业部门，对新产品的需求促进了旋压技术的发展。随着对新技术产品的研究与发展，旋压技术水平也相应提高。旋压机实现程序控制、

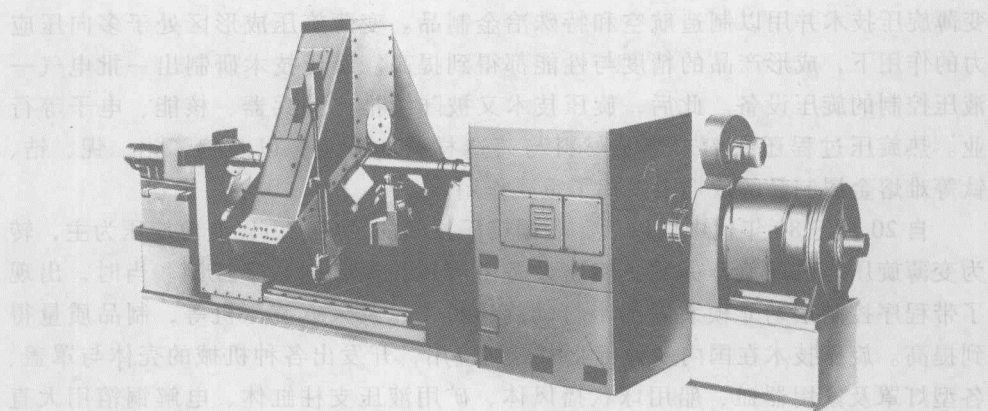
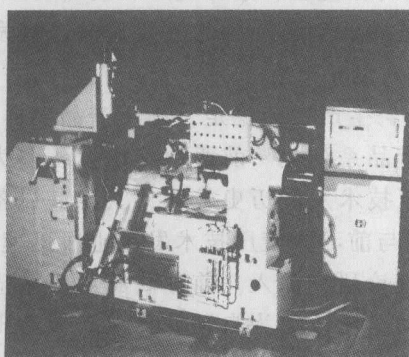


图 1-2 国产三旋轮卧式液压压机 (青海重型机床厂)

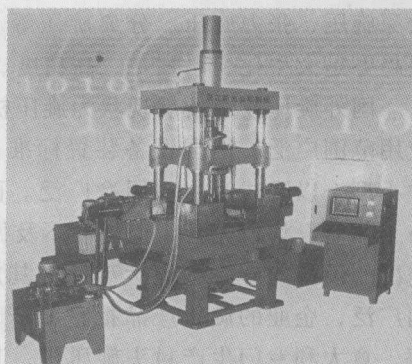
录返、数控等系统,操作更为方便,能力逐步提高,从而推动了旋压技术的新发展。

二、国内外发展

我国旋压技术发展始于 20 世纪 60 年代初期,先后有北京航空工程研究所,北京有色金属研究总院,北京航空航天大学,航天 703 研究所,沈阳金属研究所,西安重型机床研究所等单位率先开展旋压技术的研究。随后,兵器、航天、冶金、原子能等行业陆续开展旋压技术与开发。据不完全统计,当前全国从事旋压技术的单位数百家,拥有旋压设备近千台,从事旋压技术的人员数千名,旋压技术人员中工程技术人员与工人约各占一半。大型旋压设备国产数量与进口数量相当。图 1-3 为国产旋压设备。



卧式液压机 (福州机床研究所)



立式液压机 (浙江新光公司)

图 1-3 国产旋压设备

我国旋压技术的现代化进程始于 20 世纪 60 年代中期。当时,国内开始研究

变薄旋压技术并用以制造航空和特殊冶金制品。变薄旋压成形区处于多向压应力的作用下,成形产品的精度与性能都得到提高。旋压技术研制出一批电气—液压控制的旋压设备。此后,旋压技术又被陆续推广到兵器、核能、电子等行业。热旋压过程还在粉末烧结材料与铸造材料的开坯,以及钨、钼、铌、锆、钛等难熔金属制品的成形中发挥了重要作用。

自20世纪80年代中期以后,我国旋压技术的发展,由以变薄旋压为主,转为变薄旋压与普通旋压并重;旋压设备由液压控制转向数字控制。当时,出现了带程序控制摆动靠模装置的半自动旋压机,以及录返旋压机等,制品质量得到提高。旋压技术在国内多种行业中得到应用,开发出各种机械的壳体与罩盖、各型灯罩及家用器皿、船用球状播风体、矿用液压支柱缸体、电解铜箔用大直径阴极辊筒体、印刷机胶筒、复印机铝鼓基、猎枪管、灯杆、秤杆、标枪杆、景泰兰铜胎、高级小号号嘴、瓶胆等上千项产品^[1]。

随着国防军工的进展,旋压技术趋于完善。近期又扩及带、肋、键、齿等回转件的旋压成形工艺。旋压加工以薄壁回转体成形为主,还包括分离、焊接和组合加工^[2]。

国内旋压产品的尺寸范围:筒形件直径20~2000mm,壁厚0.5~100mm,长度与直径之比达10以上,直径与壁厚之比大于650。旋压筒形件最大直径2000mm,封头最大直径9000mm。

旋压机的发展水平是旋压技术水平高低的标志。随着经济的发展,各种不同类型的特殊零部件需要旋压加工,多种专用旋压机需求旺盛,例如:带轮、封头、风机及车轮等旋压机市场很好。在旋压技术深入发展的过程中,具有旋压属性的特殊用途旋压机也与日剧增,例如:内径旋压、滚珠旋压、模环旋压、拉深旋压、张力旋压、分离旋压等。旋压机是从事金属旋压的主要设备,其发展趋势是大型化、系列化、高精度、多用途和自动化。

国外旋压技术发展现状为旋压机品种齐全,生产工艺稳定,旋压产品多样,应用范围广泛。德国设备装置标准化,工艺产品系列化。前西德旋压设备多为中小型,以卧式为主,用途广泛。西班牙旋压技术发展历史较为悠久,其设备与工艺研发均较完善,但规模不及德国。美国与前苏联旋压技术发展也很迅速。美国的设备与产品趋向大型化,其旋压变形理论研究深入。前苏联旋压工艺应用广泛,企业的旋压产品批量生产,并将自动车床改装为自动旋压机,成本低廉。意大利专门生产封头旋压机,其最大加工直径 $\phi 7000\text{mm}$,最大热旋壁厚为150mm,典型封头尺寸为 $\phi 4600\text{mm} \times 90\text{mm}$ 。日本以叶山为代表的学者对旋压技术进行了深入的试验研究,促进了回转塑性加工理论的发展;日本封头旋压技术与意大利相当。英国拥有能加工 $\phi 3600\text{mm} \times 20\text{mm}$ 制品的旋压机,其立式四轴自动旋压机制作 $\phi 152\text{mm} \times 76\text{mm}$ 工件一次成形,每小时生产1000~1500件。

近半个世纪,国外金属旋压技术发展很快,已日趋成熟;很多国家已普遍采用金属旋压技术。国外旋压制件尺寸范围:直径 $5 \sim 5000\text{mm}$,壁厚 $0.2 \sim 150\text{mm}$,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 ,最大质量 60t 。

热旋压工艺因显著扩大加工范围,提高设备旋压能力,满足了难变形金属的塑性成形,在国外发展很快。冷旋 25mm 厚坯料的旋压机可热旋 137mm 厚坯料;将 25mm 厚坯料铜板冷旋成锥体,热旋同样工件,旋压力减低50%。对于钛合金、镁钛合金、钼合金、铌合金、钨合金、钨合金等难熔金属均可进行加热旋压。

国外技术先进的国家,其旋压技术从日臻成熟进入完善提高阶段。国内的旋压技术发展很快,正在缩短与国外先进国家旋压技术的差距。

第二节 工艺分类

金属旋压是毛坯装卡于芯模并随其旋转,也可使旋压工具(旋轮)绕毛坯旋转,旋压工具与芯模相对进给,使毛坯受压并产生连续逐点变形。这是一种生产薄壁回转体工件的成形工艺。旋压工艺中主要是普通旋压和强力旋压(变薄旋压),又可分别简称普旋与强旋。在旋压工艺的应用中,又派生出的特种旋压成形和局部旋压成形。旋压主要符号索引详见表1-1所示。

金属旋压具有变形条件好、制品性能优、尺寸公差小、材料利用率高、制品类别广泛、可旋制整体无缝空心回转体等优点,该技术广泛应用于国民经济各相关部门。根据旋压变形特征、壁厚减薄程度、工件几何形状等可将旋压工艺进行分类。

一、普通旋压

主要改变坯料形状,而壁厚尺寸基本不变或改变较少,这类旋压成形过程称为普通旋压。普通旋压主要改变板料直径尺寸来成形工件,是加工薄壁回转体的无切削成形工艺过程,通过旋轮对转动的金属圆板或预成形坯料作进给运动并旋压成形。

普通旋压的变形特征是金属板坯在变形中产生直径上的收缩或扩张,由此带来的壁厚变化则为从属;由于直径上的变化容易引起失稳或局部减薄,故普通旋压过程一般分多道次进给逐步完成。

按照旋轮进给方向是顺敞口端或逆敞口端的区别,普通旋压又有往程旋压与回程旋压之分。为防止局部变形产生皱折或拉断,常分多道次旋压并择优组合往程与回程旋压。图1-4a为筒形件往程旋压,图b为异形件往程与回程组合旋压。

表 1-1 旋压主要符号索引

符 号	名 称	符 号	名 称
t_0	坯料壁厚	A_θ	周向接触面积
$t_f(t)$	工件壁厚	A_R	径向接触面积
Δt	压下量 (偏离率及堆积)	A_L	轴向接触面积
t'_0	堆积壁厚	H_R	径向接触边长
$t_{\min}$	旋压工件最小壁厚	L_L	轴向接触边长
α	工件半锥角	B_θ	周向接触边长
α_0	预成形角	α'_p	旋轮退出角
N	主轴转速	F_T	切向分力
r	变形区圆弧半径	F_R	径向分力
D_m	芯模直径	F_L	轴向分力
γ_m	芯模圆角	F_r	旋轮与工件摩擦力
L_0, L	坯料与工件长度	F_m	芯模与工件摩擦力
α_p	旋轮工作角	u	变形功
m_n	旋轮个数	M_r	旋压扭矩
r_p	旋轮圆角半径	ΔH	波纹高度
h_p	旋轮压下量	$\psi_{\max}$	极限变薄率 (减薄率)
β_p	旋轮光整角	$\psi_t(\varepsilon_t)$	变薄率 (减薄率)
D_p	旋轮直径	f	进给率 (进给比)
β	旋轮攻角 (楔入角)	$F(V)$	实际进给量
d	工件外径	S	旋轮名义进给量
D_0	坯料直径	Z	变形分流线
ΔL	缩旋道次间隙	$\delta\%$	扩旋伸长率
λ_a	轴向偏转角	λ_b	周向偏转角
$\theta_\square$	异形接触角	Q_n	异形接触起点

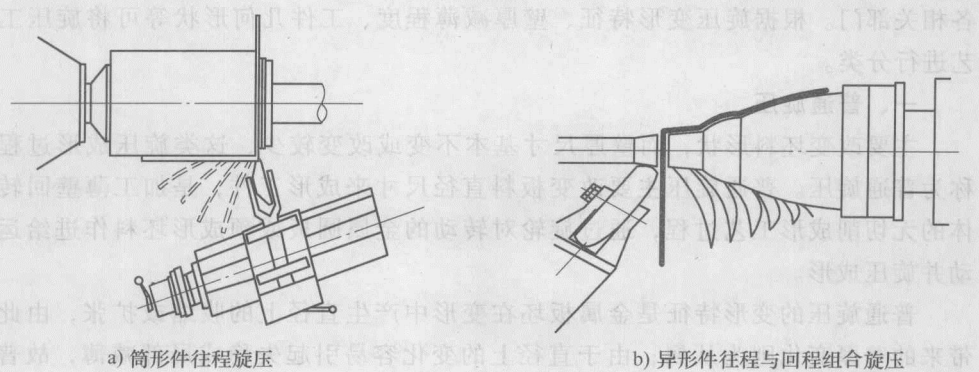


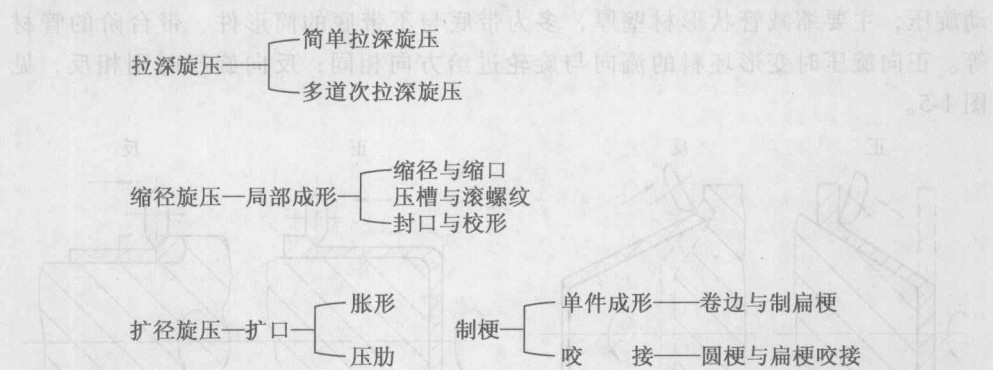
图 1-4 普通旋压

按照变形温度的不同, 普通旋压可分为冷旋压和热旋压。冷旋压即室温旋压, 室温旋压过程用于延性好, 加工硬化指数低的材料。常用的材料有纯铝、金、银、铜等。旋压塑性低、硬化指数高的材料, 以及机床能力不足时, 可采

用热旋压，热旋压常用的材料有铝-镁系合金、难熔金属、钛合金等。

普通冷旋压加工工件直径 $\phi 10 \sim \phi 8000\text{mm}$ ，坯厚 $0.5 \sim 30\text{mm}$ ；热旋压加工工件坯厚可达 $150 \sim 200\text{mm}$ 。

大型封头普通旋压以拉深变形为主，又称无芯模旋压，有一步法和两步法之分，可成形冲压工艺无法成形的超大规格封头。普通旋压主要分类如下：



普通旋压件直径公差可达到直径的 0.5% ，乃至 0.1% ；因为是点变形，旋压力比冲压力约低 80% ；一次装卡完成多道工序，加热成形极为方便。普通旋压工艺要素及其影响见表 1-2。

表 1-2 普通旋压工艺要素及其影响^[2]

成形	要素	起皱	破裂	直径精度	壁厚精度	表面粗糙度	表面波度	加工力	工效
坯料	坯料热处理	○	○	○				○	
	壁厚与直径	○	○					○	
	预制坯跳动	○	○	○	○				
芯模	径向跳动			○	○		○		
	圆角半径	○	○	○	○	○	○	○	
工艺	径向跳动			○	○				
	道次与轨迹	○	○		○				○
	转速与润滑			○		○			○
	进给比	○	○	○	○	○	○	○	○

注：○ 表示有影响。

二、变薄旋压

坯料形状与壁厚同时改变的旋压成形过程称为变薄旋压，又称为强力旋压。变薄旋压与普通旋压的区别是变薄旋压属于体积成形范畴，在变形过程中主要使壁厚减薄而坯料体积基本不变，成品形状完全由芯模尺寸决定，成品尺寸精度取决于工艺参数的合理匹配。

变薄旋压的主要类别如下：

1) 按变形性质和工件形状分为异形剪切旋压和筒形流动旋压；

2) 按旋轮与坯料流动方向分为正向旋压与反向旋压;

3) 按旋轮和坯料相对位置分为内径旋压与外径旋压;

4) 按旋压工具分为旋轮旋压与滚珠旋压;

5) 按加热与否分为冷态旋压与加热旋压。

异形剪切旋压, 适于锥形、抛物线形及各种曲母线形工件的成形。筒形流动旋压, 主要缩减管状形材壁厚, 多为带底与不带底的筒形件、带台阶的管材等。正向旋压时变形坯料的流向与旋轮进给方向相同; 反向旋压时则相反, 见图 1-5。

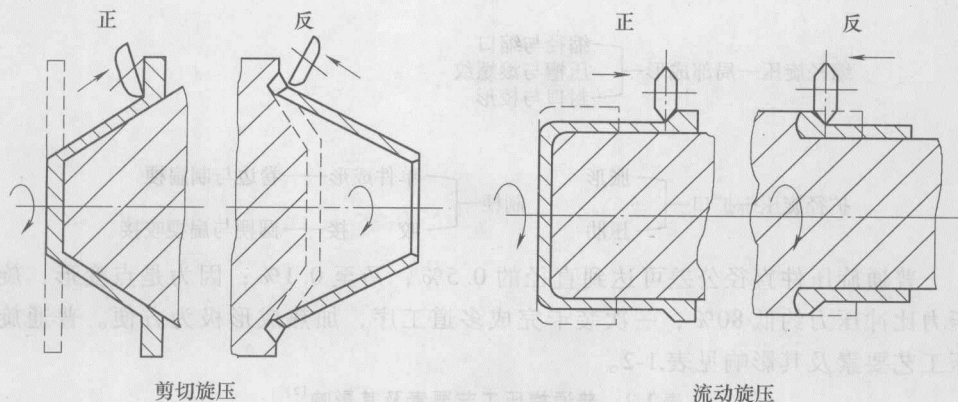


图 1-5 变薄旋压的正向旋压与反向旋压^[3]

变薄旋压过程遵循体积不变原理, 对于锥形的剪切旋压遵循正弦规律:

$$\text{在平板旋压时,} \quad t_f = t_0 \sin \alpha \quad (1-1)$$

$$\text{在预制坯旋压时,} \quad t_1 / \sin \alpha_1 = t_2 / \sin \alpha_2 \quad (1-2)$$

$$\text{在筒形件变薄旋压时,} \quad (D_m + t_0) t_0 l_0 = (D_m + t_f) t_f l \quad (1-3)$$

在典型变薄旋压过程中, 变形区处于二向受压 (正旋) 和三向受压 (反旋) 的有利状态。旋压材料包括可进行塑性加工的铸、锻材料, 难成形材料。坯料制造可以采用机械加工、压力加工、特种铸造、粉末压铸及焊接等方式。坯料热处理状态可以选用退火、调质、正火、固溶等。

变薄旋压件具有小的壁厚差, 优于普通旋压及拉深的直径精度。筒形件变薄旋压可达到的精度与工件直径有关, 工件直径每增加 10mm, 直径公差增大 0.01mm。

变薄旋压件的表面粗糙度可达到较高级别, 与旋压模相接触的表面可与模具表面达到同一级别; 与旋轮相接触的表面, 宏观波纹取决于系统刚度和工艺条件, 可以有较大差别。

变薄旋压可以细化晶粒, 提高强度和抗疲劳性能, 有助于产品综合性能的

提高, 延长使用寿命并减轻成品重量。变薄旋压制件经去应力退火后适于长期存放。坯料中的夹渣、分层等缺陷会在旋压过程中自行暴露, 产生破裂, 可发挥自检功能。对于无特殊要求的并未能暴露的细微缺陷, 受加热旋压加工后有一定程度弥合和改善的功能。

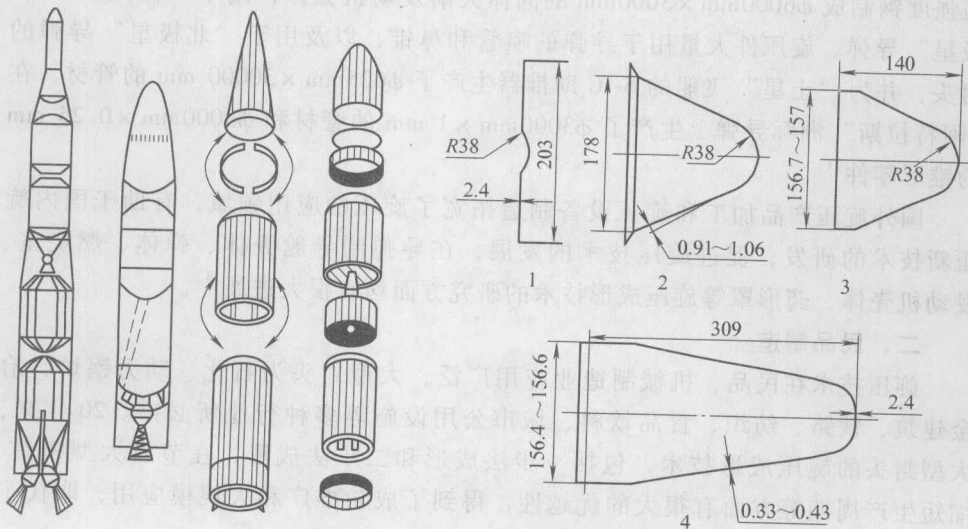
加热变薄旋压合金为热加工组织, 晶粒细化程度决定于加热温度的高低, 低温晶粒细化充分, 高温晶粒易长大。室温变薄旋压铸坯需有效控制减薄率, 多道次变薄旋压的工件, 晶粒为组织致密的加工流线。

第三节 应用领域

一、国防建设

随着国防建设的发展, 旋压技术得到了广泛的应用。在导弹、火箭、宇航方面, 卷焊大直径薄壁壳体的焊缝易脆裂和应力集中, 不适应大型壳体减薄壁厚, 减轻重量, 提高强度, 减少环焊缝, 消除纵缝的要求; 旋压成形可弥补其不足。国外采用变薄旋压技术已成形 $\phi 3000\text{mm} \times 6000\text{mm}$ 的壳体, 以及旋出 $\phi 625\text{mm} \times 30000\text{mm}$ 的管材, 显示了旋压技术的应用潜力。

旋压技术在发达国家凸显其先进性、实用性和经济性。导弹所需的旋压件见图 1-6a 所示。一枚导弹的许多部件可采用旋压方法加工, 典型部件有制导舱壳体、战斗弹外壳、药形罩等。人造卫星鼻锥属典型旋压产品, 美国“探险者”卫星的鼻锥旋压工序见图 1-6b 所示。



a) 导弹所需的旋压件

b) 美国“探险者”卫星的鼻锥旋压工序

图 1-6 旋压产品^[4]