

# 旋压成形技术

日本塑性加工学会 编



机械工业出版社

# 旋压成形技术

日本塑性加工学会 编

陈敬之 译 陈适先 校



机械工业出版社



本书较系统地阐述了旋压成形技术的基本概念、压的经济性、各种材料的可塑性以及成形工艺和设。特别是大量列举了日本各行业中的旋压成形实例，包括产品件技术条件、成形工序、所用工艺装备和详细的工艺规范，并归纳了二十六个方面二百零五个技术问题及其解决措施。本书由日本塑性加工学会旋压分会集体讨论编写的，内容具体而实用，可供我国有关的工人、工程技术人员及学校师生参考。

**スピニング加工技術**

日本塑性加工学会 編  
 編集委員長  
 栗山益次郎  
 日刊工業新聞社  
 1984年

● ● ●  
**旋 压 成 形 技 术**

日本塑性加工学会 編  
 陈敬之 译  
 陈道先 校

●  
 责任编辑：刘彩英  
 封面设计：田殿文

●  
 机械工业出版社出版（北京东黄城根北街25号）  
 （北京市书刊出版业营业登记证出字第107号）  
 机械工业出版社印刷厂印刷  
 新华书店北京发行所发行·新华书店经销

●  
 开本 850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub>·印张 6·字数 156千字  
 1984年2月北京第一版·1984年2月北京第一次印刷  
 印数 0,001—0,850·定价：2.05元

●  
 科技新书目：161-105  
 ISBN 7-111-00148-0/TG·00



## 原 序

旋压是将金属板材和管材等毛坯制成各种形状的旋转对称件，是一种独特的塑性成形方法。近年来，它在技术和设备方面都获得了发展，因而广泛用于通用机械、汽车、化工、航空与航天以及核工业等机械零件和产品的制造，在使多品种小批量的生产合理化和降低成本方面有很高的价值。如果还有将现代旋压视为凭经验的老式擀形手艺的陈旧观念则务请详看本书。

大约十年前，在物理化学研究所的吉田清太先生的促进下成立了塑性加工学会旋压分会。当时除了引进国外的旋压机外也出现了日本国产的自动旋压机，但是各公司在旋压成形技术方面还处于摸索阶段，并保留着传统的方法。旋压分会聚集了使旋压技术现代化的专家，他们勇于提出技术问题并积极展开讨论，根据实际的经验与体会进行旋压成形技术的系统化工作。这期间，旋压分会还对日本全国进行了技术调查，并举行公开的技术座谈会，努力提高旋压成形技术的通用性。

本书是以这十年来的成绩为基础，以对旋压直接或间接有关的技术人员、准备新采用这项技术的技术人员以及技术管理人员为对象而编写的。因此本书的内容包括了旋压成形技术的基本事项以及成形实例和经济性，尤其考虑到能将这些用于解决各种技术问题。书中还有日本旋压机床的特点和详细的技术规格，以供一般技术人员使用。本书另一个特点是有关成形技术的全部事项都是经过旋压分会讨论的，并未作假定或引用其他文献。成形实例都是实际市场上的机械零件和产品，因此在试制类似的形状、尺寸及材料的零件，在判断是否能用于制造稍有不同的现有零件时是极为重要的资料。迄今还没有象这样发表详细成形条件的书刊，由于旋压分会充分发挥了作用才得以产生。相信它具有很高

的价值。

目前对通用和专用的旋压机床都在推行包括毛坯和工件装卸的自动化，并开始使其数控化。在这种情况下，希望本书所载的系统的成形技术能使旋压更加普及。

1984年3月11日

日本塑性加工学会旋压分会委员长

横浜国立大学教授 叶山益次郎

### 参与本书编辑的旋压分会委员

委员长	叶山益次郎	横浜国立大学工学院
委员	芦泽嘉躬	东芝机械株式会社
	秋吉秀保	日本制轴株式会社
	工藤洋明	横浜国立大学工学部
	小泉茂久二	三菱重工业株式会社
	小峰正夫	横浜机工株式会社
	佐藤泰一	新日本制铁株式会社
	齐藤莞爾	住友轻金属工业株式会社
	齐藤正美	铃鹿工业专门学校
	安田喜八	富士机械制造株式会社

# 目 录

第一章 旋压成形技术的概况	1
1.1 旋压成形技术的发展	1
1.2 旋压产品	3
1.3 旋压工艺的分类	7
第二章 自动旋压机及其应用	13
2.1 通用自动旋压机	13
2.1.1 卧式旋压机的主要组成及其功能	13
2.1.2 附属装置及其功能	18
2.1.3 立式旋压机	19
2.2 专用自动旋压机	20
2.2.1 旋压机专用化的趋势	20
2.2.2 筒形变薄旋压的专用旋压机	21
2.2.3 管端成形专用旋压机	21
2.2.4 封头成形专用旋压机	23
2.3 日本的自动旋压机	23
第三章 旋压成形技术的经济性	25
3.1 由经济效益评价旋压工艺	25
3.2 以旋压代替原有工艺的实例	27
第四章 旋压的基本加工方法	30
4.1 拉深旋压成形技术	30
4.1.1 简单拉深旋压的成形技术	30
4.1.2 多道次拉深旋压的成形技术	34
4.2 剪切旋压成形技术	46
4.2.1 毛坯设计	47
4.2.2 工艺条件的选择	49
4.3 筒形变薄旋压成形技术	63
4.3.1 成形的基本事项	63

4.3.2	旋轮形状的选择 .....	66
4.3.3	旋轮进给比的选择 .....	68
4.3.4	旋轮道次程序的确定 .....	70
<b>第五章</b>	<b>旋压成形实例 .....</b>	<b>73</b>
5.1	记载成形实例的顺序和符号 .....	73
5.2	各种成形实例 .....	74
<b>第六章</b>	<b>旋压常用的材料及其性能 .....</b>	<b>135</b>
6.1	铝及其合金板材 .....	135
6.1.1	名称代号 .....	135
6.1.2	一般的性能 .....	136
6.1.3	调整材质 .....	138
6.1.4	选用铝材的原则 .....	138
6.2	低碳钢板 .....	139
6.2.1	钢板的种类及其制造方法 .....	139
6.2.2	低碳钢板的金属性质和机械性能 .....	140
6.2.3	低碳钢板的可旋性 .....	143
6.3	不锈钢板 .....	144
6.3.1	不锈钢板的金属性质和机械性能 .....	144
6.3.2	不锈钢板的可旋性 .....	146
6.4	各种材料的成形性 .....	147
<b>第七章</b>	<b>旋压产品的生产经验 .....</b>	<b>149</b>
7.1	成形技术的有关事项(A~N) .....	150
7.2	加工工具的有关事项(O~Q) .....	162
7.3	毛坯的有关事项(R~T) .....	165
7.4	材料的有关事项(U~X) .....	167
7.5	辅助加工的有关事项(Y~Z) .....	169
<b>第八章</b>	<b>数控自动旋压机的发展动向 .....</b>	<b>172</b>
8.1	数控旋压技术的概况 .....	172
8.2	机床结构的特征 .....	173
8.3	NC和CNC方式中加工数据的输入 .....	174
8.3.1	利用数字化转换器输入旋轮道次数据 .....	174
8.3.2	利用曲线模型输入旋轮道次数据 .....	175

## VI

8.4 利用 A-D 变换方式的旋压 .....	176
8.5 数控旋压技术的研究课题 .....	176
8.6 日本的标准型自动旋压机的规格示例 .....	177
附录 1 旋压用材料的代号对照表 .....	181
附录 2 旋压术语对照表 .....	184



# 第一章 旋压成形技术的概况

## 1.1 旋压成形技术的发展

将一块金属圆板安装在旋压车床上使其旋转，同时用擀棒紧压其表面，一次又一次地加以擀压，使其一点一点地变形，最后成形出所需圆筒或圆锥之类形状的零件。这种工艺称为手工旋压。进行手工旋压时擀棒靠手操作，需要娴熟的技术和强劲的体力，加之这种工艺长期是在具有特定关系的工匠之间代代相传，因此现在知者不多。不过仍然有不少轻金属薄壁家用器皿、工艺美术品和一些机械电器零件还是用它制造的。

由于从事手工旋压的技师逐渐减少，又由于需求的迅速增长，手工旋压作业就被现代化的自动旋压所代替。新的方式不要求操作者有特别熟练的技术，也不需要进行繁重的体力劳动，而能制造出旧式旋压无能为力的厚件和大型产品。自动旋压机的进展与普及十分迅速。随着技术的进步它已经系列化。它往往具有多种功能，在一道工序中除了完成旋压成形以外，还能完成各种辅助加工。为了适应不同的需要，根据制件的尺寸和材料的不同制造了各种形式的旋压机床，从而使它成为加工机械的一种特殊的类型。近年来，随着微型计算机的普及，数控自动旋压机的发展很快，这将使旋压技术得到更为显著的进步。

举例而言，曾经为将一块不锈钢板制成如图 1-1 所示的旋压件，就其成形条件和时间的方案向不同公司的技术人员进行过征询，结果示于表 1-1。由表可知，标有“\*”号的三家公司无疑是打算采用手工旋压。他们的方案的成形时间很长，所用毛坯的直径也比其他方案大。相反，打算采用自动旋压的六家公司，方案虽然有所不同但选用的成形时间和毛坯直径没有多大的差异。由此

可见，手工旋压远远不如自动旋压。从表中还可以看出，各公司选用的毛坯转速和旋轮直径都不相同，而且差异相当大。这就说明了旋压成形的特点：只要正确掌握了对成形影响最大的工艺条件，其他参数就有充分选择的余地。这些方面还可以参见第五章的成形实例。

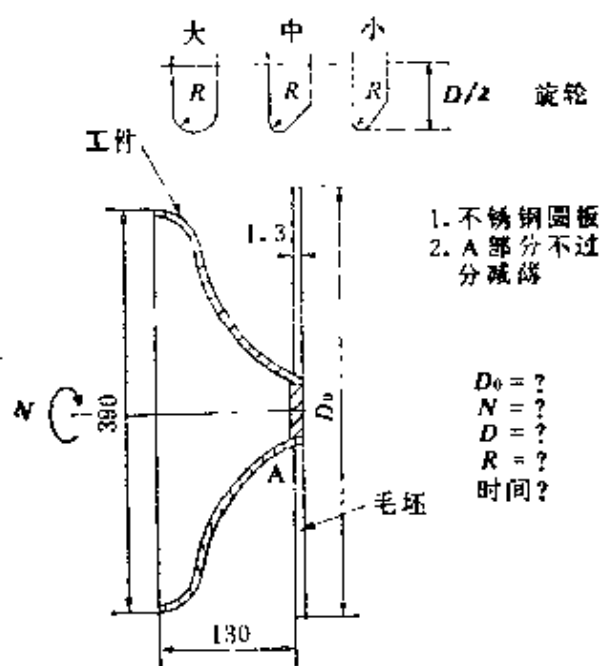


图 1-1 旋压件制造的调查实例

表 1-1 图 1-1 的旋压件的成形条件和时间

公司	毛坯直径 (mm)	毛坯转速 (r/min)	旋轮形状 ( $R_1$ 和 $R_2$ 为圆角半径, mm)	旋轮直径 (mm)	成形时间 (min)
A	410	900	小, 4	80	1.33
B*	490	250	中	60	25
C	420	600	中	155	2
D*	500	464(294)	中	200	30
E*	440	450	$R_1 200, R_2 8$	240	18
F	390	800	$R_1 150, R_2 6$	200	1.5
G	420	390	$R 10$	280	1.5
H	406	600	$R 6.5$	180	0.83
I	430	300	大	200	3

## 1.2 旋压产品

随着自动旋压机的问世，采用旋压已能制造出多种多样的制品和机械零件。如果说能否用它代替冲压需作具体分析，那么用它代替铸造、锻造或切削加工的机会则正在日益增多，而且还在进一步使它与这些工艺相结合，成为复合工艺。

象汽车零件那样需要大量而连续生产的情况，往往采用专用旋压机。但是总的来说，现在应用的旋压机多数还是适于多品种生产的通用型。表 1-2 是日本部分旋压产品的调查实例。月产三千件以下即属于小批生产者占百分之七十。月产三千件以上者占百分之三十，其中月产一万件以上者有五种产品。从产量上来说，旋压也能够与其他塑性成形工艺相竞争。月产一万件以上的产品有轮辋和储气瓶等，它们所用旋压机的专用性很强。这种技术所以能适合多品种生产，一方面是由于它能制造出形状繁多、尺寸各样的产品，另一方面则是几乎所有的金属材料它都能成形。

表1-2 旋压月产量的调查结果

生产件数	种数	比率(%)
10	4	3.7
50	14	13.1
100	6	5.6
300	24	22.4
500	17	15.9
1000	11	10.3
3000	16	15.0
10000	10	9.3
10000以上	5	4.7
合计	107	100.0

旋压件的基本形状大致分为圆筒形、圆锥形、凹形、凸形、管形、阶梯形、缩口形以及其他形状等八种，还有由这些形状组成的复合形状，如图 1-2 所示。由此可见，几乎所有形状的制品和零件均能用旋压成形。表 1-3 是旋压件形状的调查实例。

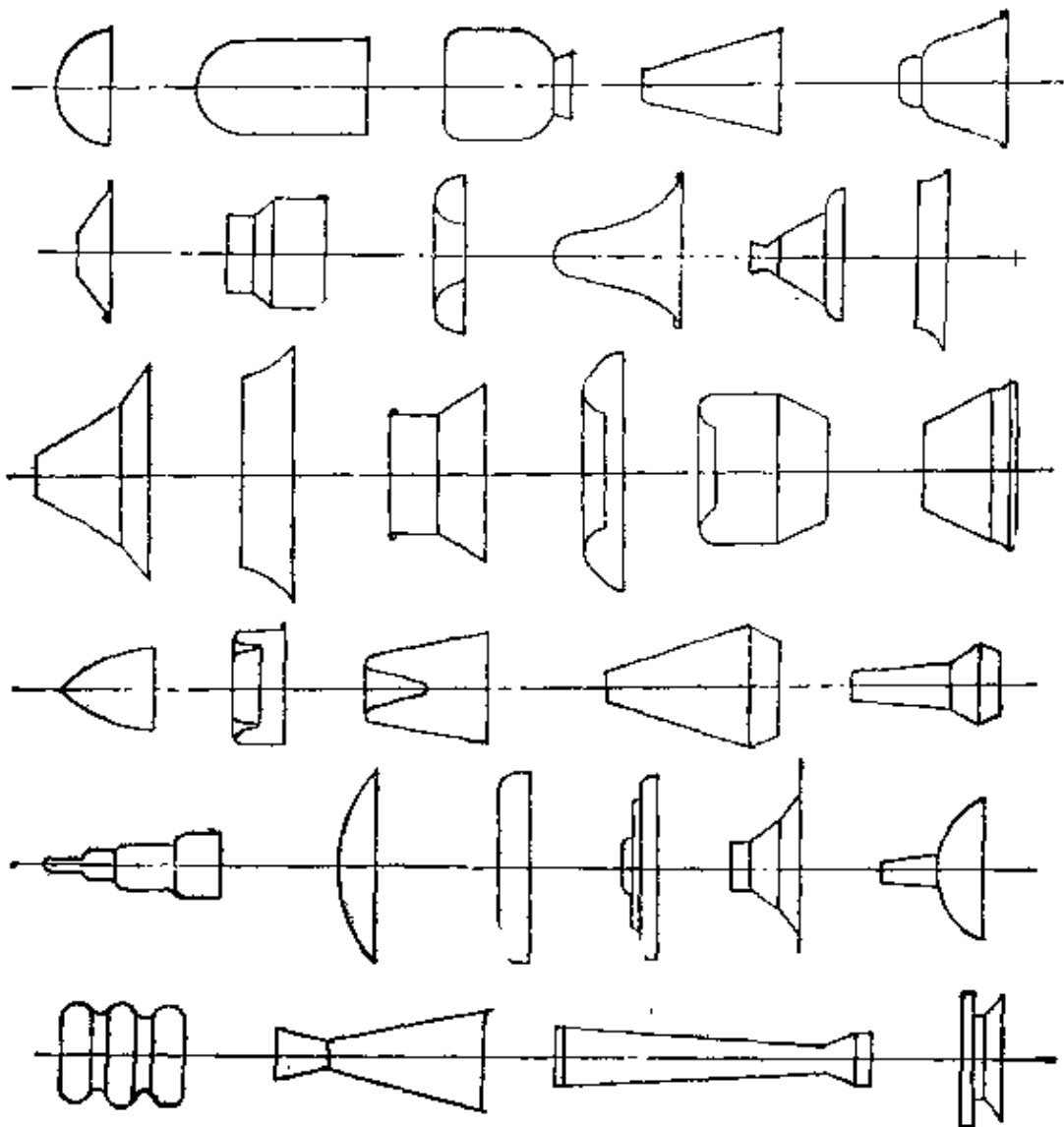


图1-2 旋压件的形状示例

表1-3 旋压产品按形状分类的调查结果

形 状	种 数	比率(%)
圆锥形①	73	24.3
曲母线形	58	27.2
圆桶形②	56	26.3
管形	25	11.7
其他③	1	0.5
合 计	213	100.0

注：①包括奖杯形；  
 ②包括封头；  
 ③特种旋压的皮带轮。

旋压件的尺寸受限于旋压机的尺寸和性能，但是可以在旋压机的功率和最大成形直径的允许范围内变化。从产品的调查结果判断，毛坯直径 200~400mm 的旋压件为最多，加上 600mm 左右的占全部旋压件的 85%。一些大型旋压件的直径已超过 1600mm，就连特大型封头也已能旋压成形。旋压能适应多种厚板，能成形冲压所不能成形的厚度，因而有“锻造旋压”的称谓。但是在日本，旋压成形的板材厚度有 80% 是小于 2mm 的，具有锻造概念的强力旋压还应用得不多。

旋压对多种金属材料有很强的适应性。这也是它适合多品种生产的重要原因。在第五章中可以看到，通常旋压的材料以铝、碳钢和不锈钢为多，也有特殊的难成形材料。由表 1-4 可知，碳钢和不锈钢占的比例超过了 56%。这说明旋压在机械零件制造中的作用。其他的旋压材料还有银、白铁皮、坡莫合金、哈斯特洛伊 (Hastelloy) 等镍基合金以及钛合金等等。特种材料本来就几乎不用于大量生产的零件，因而采用对大量生产适应能力不强的旋压正合适。即使某种材料的变形抗力大、延展性差，但只要旋压的成形条件选择得合适，有效地控制住那些左右成形极限的因素，就能够成形出产品。旋轮的形状和进给速度或毛坯的转速等成形条件的选择，能够控制旋压件的强度和精度，这就扩大了旋压对多品种生产的适应性。

表 1-4 旋压件所用材料的调查结果

材料种类	产品种数(X)	比 率 (%)
碳 钢	75	33.3
铝	56	24.9
不 锈 钢	52	23.1
铜	17	7.6
黄 铜	14	6.2
其 他①	11	4.9
合 计	225②	100.0

注：①包括银、白铁皮、镍基铁、哈斯特洛伊镍基合金和坡莫合金；

②包括不同材料的同种旋压件。

全日本的旋压件品种的调查实例示于表 1-5。由表可见，机械零件几乎占了40%，其中包括转筒盖、固定管、伸缩管、喇叭形进气口、漏斗、离心分离器、电动机端盖、牙科医疗器械、空调设备、鼓风机喇叭口、油压器具、发动机零件、轮辋、轮辐、混凝土搅拌机的搅拌筒、桩、消音器、各种喷口、衬套、蓄压器、各种减压器、三角皮带轮以及汽车和飞机零件等。旋压的机械零件的品种今后还会日益增多。

表1-5 旋压件品种的调查结果

产 品 种 类	产品种数	比 率(%)
机械零件	78	37.1
照明器具	36	17.1
家用器皿	31	14.8
压力容器	26	12.4
通讯设备(含音响器件)	13	6.2
理化器械	6	2.9
仪器零件	4	1.9
乐 器	3	1.4
其他(内部装饰品及杂品)	13	6.2
合 计	210	100.0

照明器具，论其形状是旋压的典型产品，表 1-5 中超过了17%。按其形状和尺寸细分有灯室、灯罩、枝形吊灯的吊座、反射罩、前大灯壳体、探照灯、聚光灯、反射器、庭园灯、水银灯、吊灯以及日本新干线铁路用灯等。

家用器皿自古以来就是旋制的，在表 1-5 中约占15%。它包括平底烧水壶具、碗具、脸盆、搪瓷水壶、小茶壶、铝锅、奶油罐、提具、花盆以及汤钵等，此外还有炊事器具和饲料器具。由于对豪华生活的追求与日俱增，对照明器具和家用器皿的要求也越来越严格。

各种各样的封头也已采用旋压成形，压力容器的管端是旋压封口的，其种类很多，引人注目。此外，罐体的胀形、凸缘的翻边以及套管类的成形也常用旋压。

包括扬声器等音响器件在内的通讯设备中也有旋压件。大型件如几米直径的抛物面天线和将近两米直径的放电球。旋压这样的器件饶有趣味。计测和理化设备的器件如电子显微镜的零件、漏斗、试管和维生素管等，在表 1-5 中所占的比例不大。乐器类如有些打击乐器和吹奏乐器也用旋压制造。此外，还有些形状复杂而难以称谓的各种制品和机器零件、内部装饰品以及杂品等旋压件。在第五章中还将叙述调查到的上述旋压件的旋压实例。

### 1.3 旋压工艺的分类

如图 1-2 所示，旋压件的形状多种多样，并且都希望用效率最高的方式制造。因此使用的毛坯有板材、管材、或者经冲压、锻造、铸造及切削加工的预制件，根据不同的毛坯采用不同的旋轮运动方式即不同的旋压方式。通常把旋压工艺分为拉深旋压、剪切旋压（锥形变薄旋压）、筒形变薄旋压、收颈、胀形、切边、卷边（折边）、内翻边、压波纹或压筋以及表面精整（压光）等。其中头二种是用板材或预制件制造旋压特赋形状的重要成形方式，后面的方式多用于管材或预制件的成形。

#### （1）拉深旋压

如图 1-3 所示，把一块圆板装在芯模上，使主轴旋转，推压旋轮使其沿着芯模运动并进行成形。如果以一次成形达到最终形状，则板材往往起皱或开裂而使成形失败。可以使旋轮沿图中所示的虚线轨迹往复若干次，逐渐成形出最终形状。这种方法

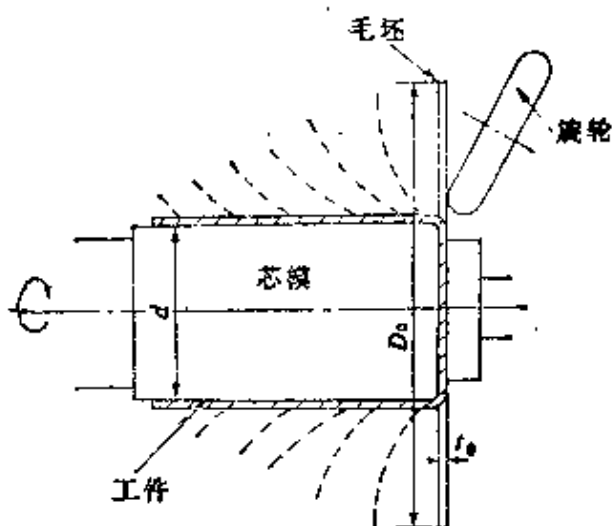


图 1-3 拉深旋压

叫做多道次拉深旋压。毛坯直径  $D_0$  与成品直径  $d$  之比  $D_0/d$  (拉深比) 越大，毛坯直径  $D_0$  与其厚度  $t_0$  之比  $D_0/t_0$  越大，成形就

越困难。

### (2) 剪切旋压 (锥形变薄旋压)

如图 1-4 所示, 这种方法是只经过一次旋压就能由板坯成形出锥形件。毛坯的外径保持不变, 成品的壁厚比板坯薄, 等于  $t_0$  的  $\sin \alpha$  倍, 故有变薄旋压之称。圆锥半角  $\alpha$  大致取  $12^\circ \sim 80^\circ$ 。当旋压件的形状不是圆锥体时毛坯的外径仍然能够保持不变。板坯也不一定都是圆形的。这种旋压方式的成形时间短, 成形精度高。

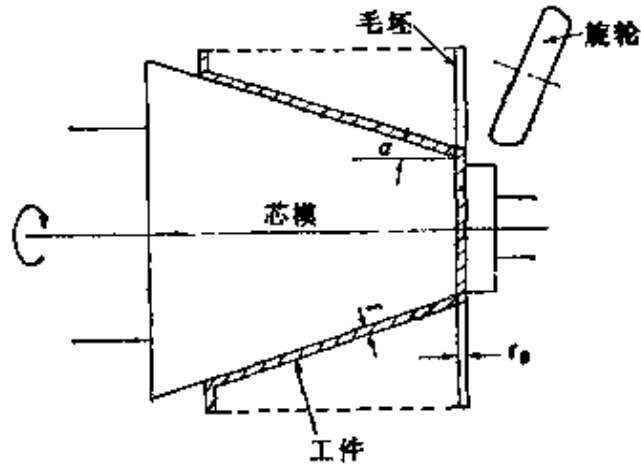


图 1-4 剪切旋压

### (3) 筒形变薄旋压 (流动旋压)

如图 1-5 所示, 这是用旋轮将圆筒形或管形毛坯旋薄旋长的成形方法。它能轻而易举地将冲压或切削难于加工的长而薄的圆筒件制造出来, 并且达到较高的精度。

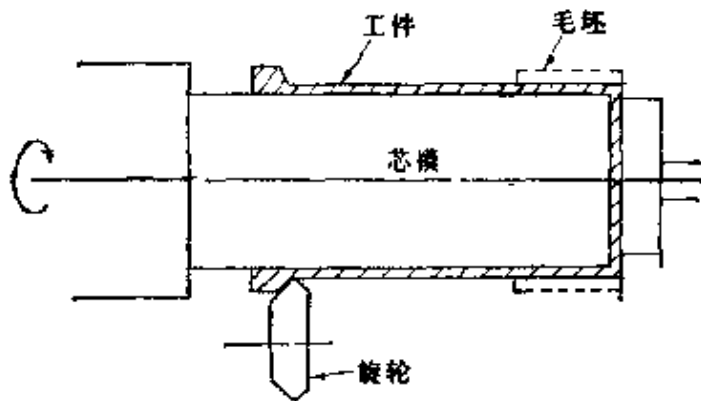


图 1-5 筒形变薄旋压

### (4) 旋压收颈

如图 1-6 所示, 这是使管材或圆筒形毛坯的端部或中间通过拉深产生直径收缩的旋压方法。和拉深旋压一样, 旋轮沿毛坯的



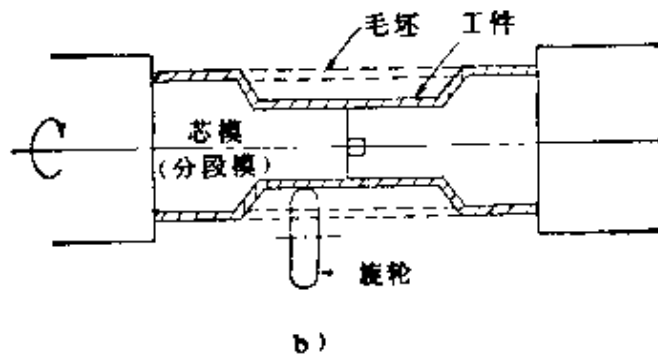
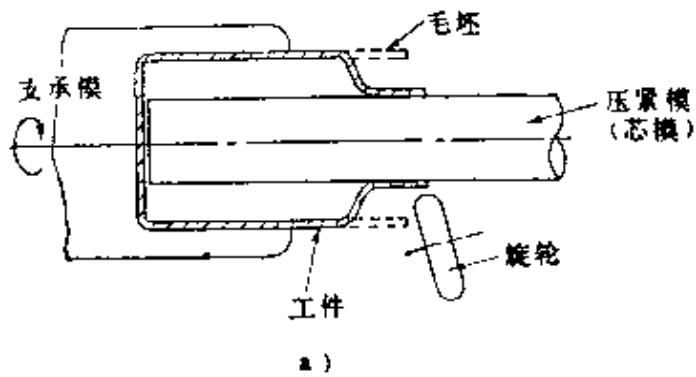


图1-6 旋压收颈

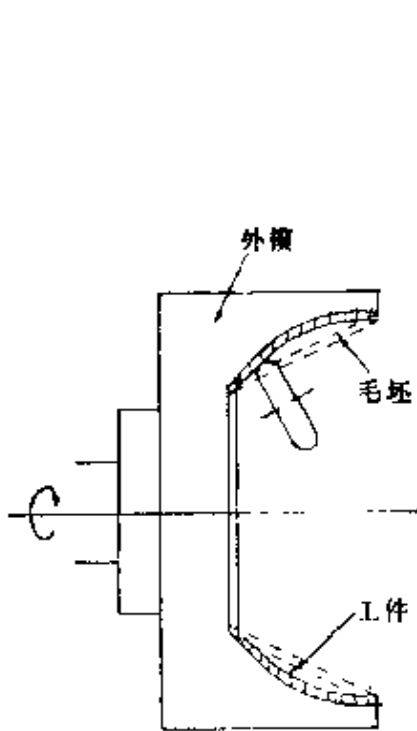


图1-7 胀形

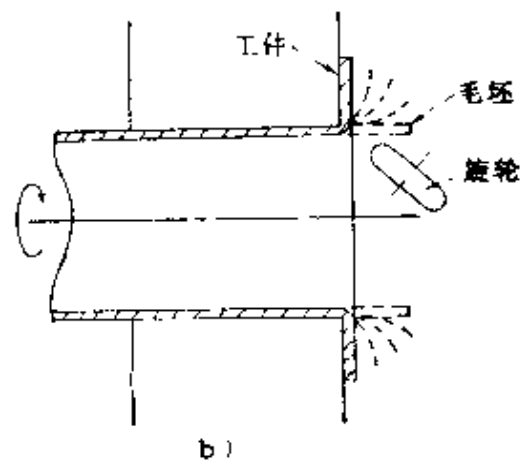
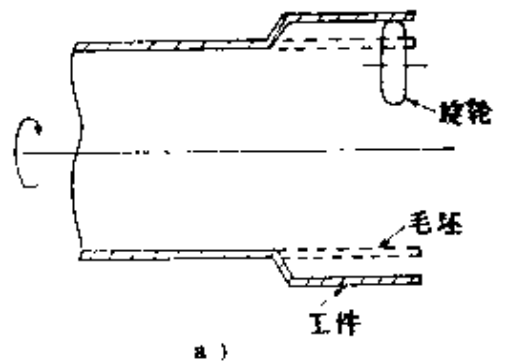


图 1-8

a) 胀形或扩口 b) 外翻边

轴向移动同时逐次拉深毛坯而得到最终形状。

### (5) 扩径旋压 (胀形)

在这种工艺过程中旋轮深入大口径管材或圆锥体内, 与其内壁接触并使直径扩大。图 1-7 是利用外模对圆锥体毛坯扩径成形的示例。由于材料受的是拉伸变形, 因而不能象拉深旋压那样产生大的变形。当毛坯直径小时旋轮就伸不进去, 因此这种旋压方式的使用范围有限。图 1-8 a 是在管端扩径, 也称为胀形或扩口。图 1-8 b 是在管端旋出凸缘, 称为外翻边。在这些成形中, 管材都是受拉伸变形, 与图 1-6 的以压缩变形为主体的旋压收颈相对应。

### (6) 切割

旋压件的端部往往不整齐而需要进行修切, 不必要的底部也需要切除。如图 1-9 所示, 可以采用双切割轮图 a、单切边轮图 b 或车刀图 c 修切凸缘。通常是对薄板件使用切边轮而对厚板件使用车刀。

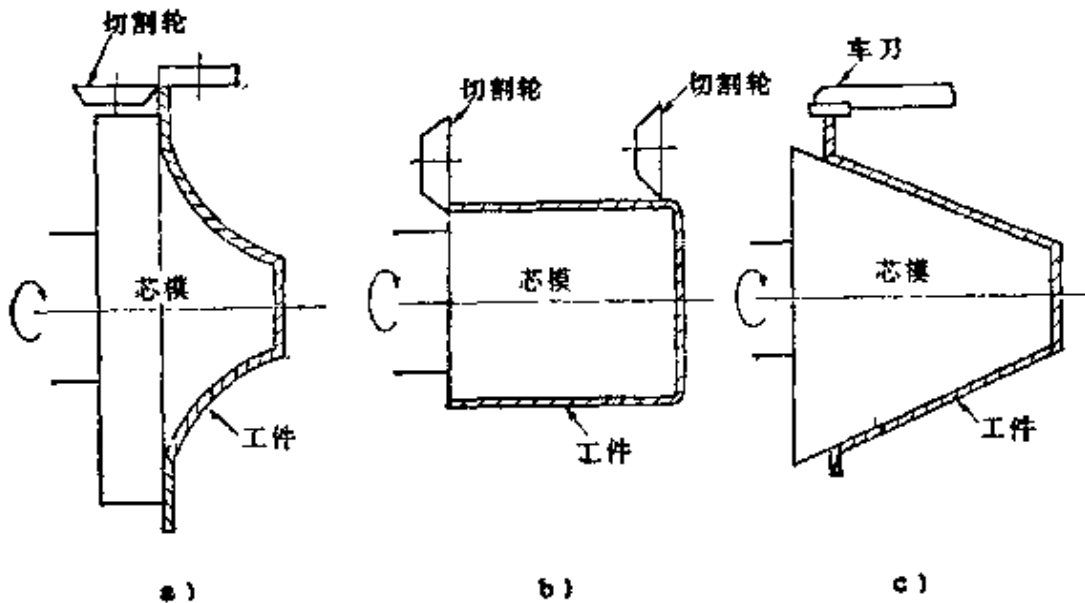


图1-9 切割

### (7) 卷边

这种成形方式是将旋压件的端部卷圆以增强其刚性或美化其外形，如图1-10 a 所示。卷边是用外周有圆弧槽的卷边旋轮推压旋压件的外缘而进行的。有时候还用平旋轮压塌卷曲的圆梗即进行折边，如图 1-10 b 所示。

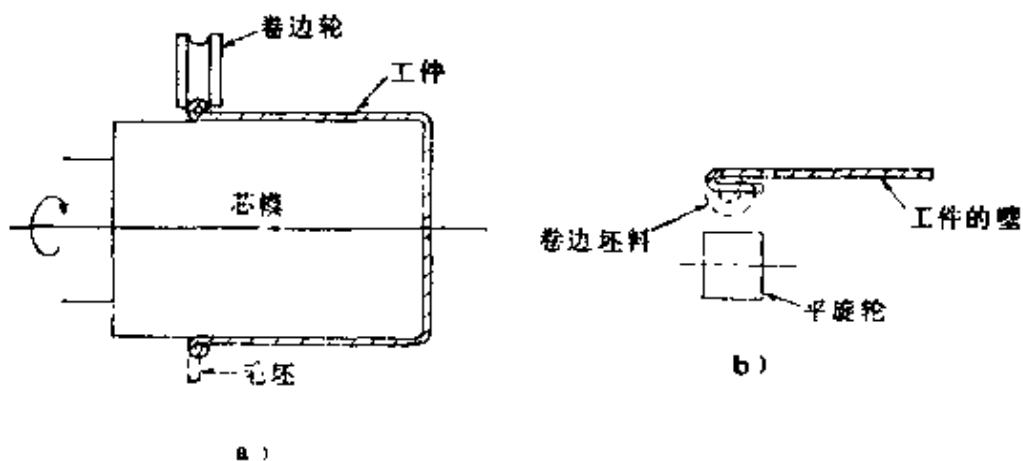


图1-10 卷边 a) 和折边 b)

### (8) 其他旋压成形方法

根据需要旋压还能够进行各种辅助成形。图 1-11 是用旋轮扩孔同时进行内翻边。图 1-12 是用圆角半径小的旋轮推压拉

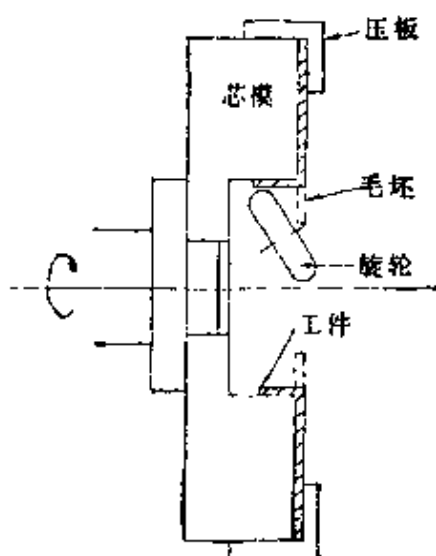


图1-11 内翻边

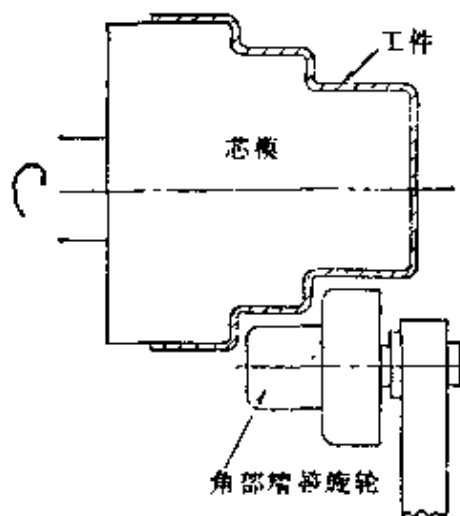


图1-12 角部精整

深旋压的半成品,以减小其拐角处的圆角,进行角部精整。这是由于拉深旋压不能使用圆角半径太小的旋轮,所以难于直接旋出工件的角部。此外,给某些旋压件旋出鼓凸以增加其强度,或者美化其外观而进行压筋或压光等。这些方式在第五章的成形实例中都有阐述。

如图 1-3 所示,旋压件的形状一般都取决于芯模的形状。但当需要制备很大的芯模而不经济时,也可以不采用芯模而靠旋轮的形状及其运动来确定旋压件的形状。在旋压封头时经常使用这种方法,也称为翻边,参见图 2-14。

## 第二章 自动旋压机及其应用

针对各种需要已经制造了具有不同尺寸和功率的自动旋压机，达到了所要求的各种技术经济指标。自动旋压机的分类尚未确定，机型和尺寸也没有标准化。这里把它分为通用型和专用型两种加以阐述。

### 2.1 通用自动旋压机

#### 2.1.1 卧式旋压机的主要组成及其功能

通用自动旋压机可以分为卧式和立式两种，但通常使用的是类似车床的卧式机型，图 2-1 是其一例。它由装卡芯模的主轴箱、安装旋轮的旋轮架、顶紧毛坯的尾座以及床身组成。它与车床的不同之处在于加大了功率，特别是加大了旋轮对芯模的顶力以及旋轮纵向进给的拖动力。为此加大了旋轮架的滑动面，并且为提高刚性而全部采用了重型结构。

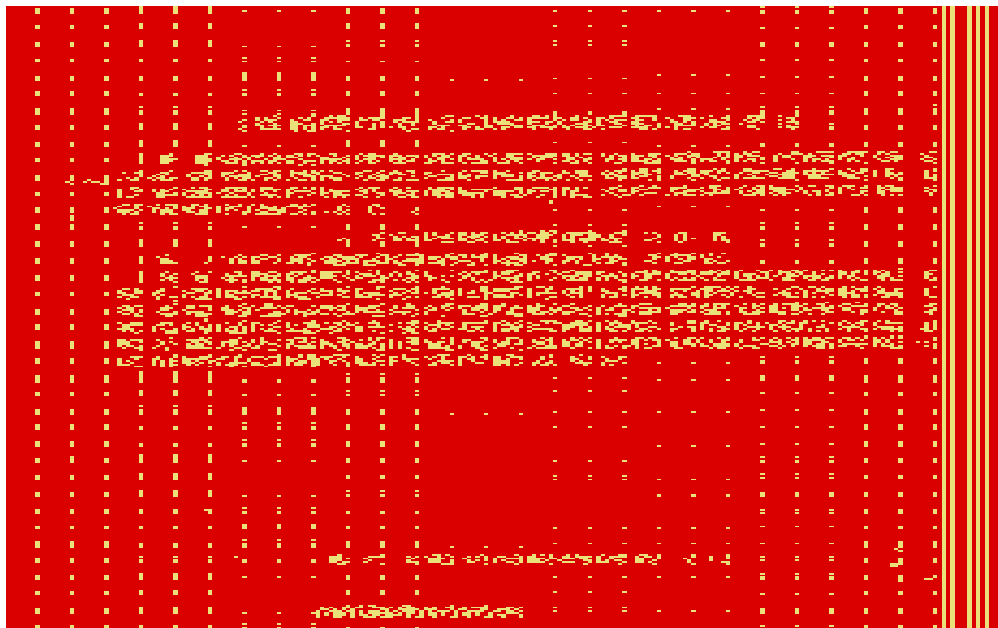


图2-1 自动旋压机示例

### (1) 芯模同主轴的安装方法

为了提高芯模安装在主轴法兰盘上的精度和刚性，在结构上想了许多办法。图 2-2 所示的是三种典型的安装结构。其中图 a 是主轴法兰盘上有一个锥体，芯模的内锥孔与之配合，使定位准确。图 b 是利用锥体的弹性变形以提高安装精度。旋压机既要有大的旋压力又要能够简便而迅速地装卸芯模，以适应多品种小批量生产，所以它有根本不同于车床的结构。

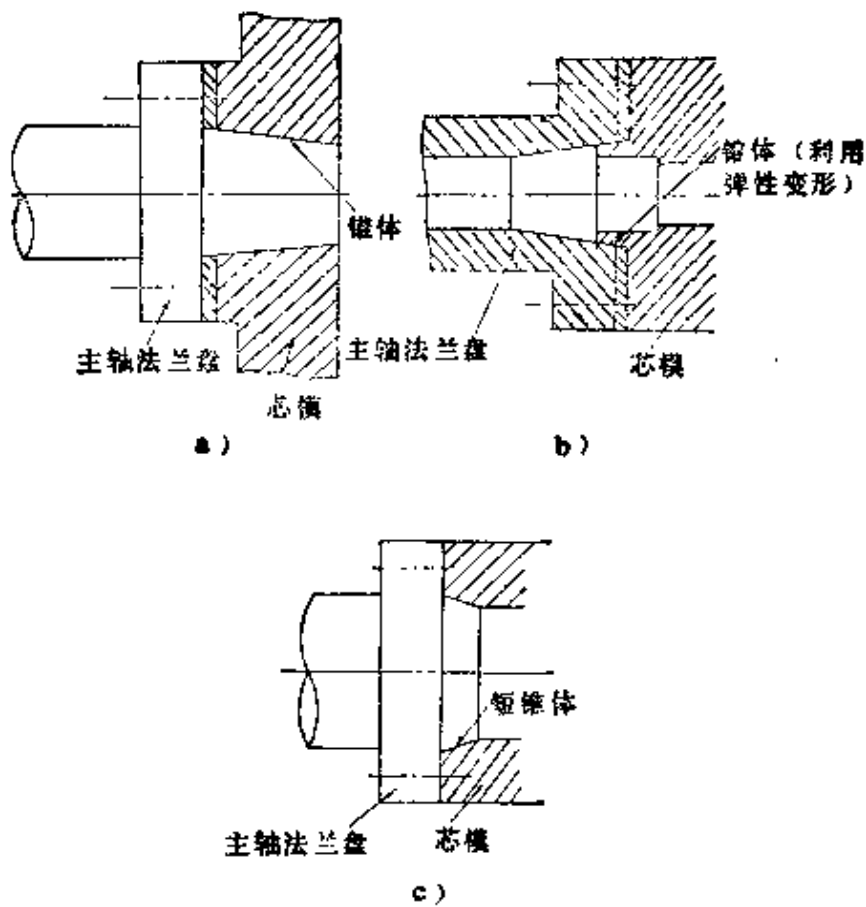


图2-2 芯模同主轴的安装方法

成形后的旋压件，有时候因其形状的原因而与芯模扣得很紧以致很难取下。为便于卸件，旋压机上装有顶件器。如图 2-3 所示，一根顶杆贯穿主轴和芯模，由主轴箱后部的油缸驱动而将旋压件顶出。

### (2) 旋轮与旋轮架的安装方法



0157839

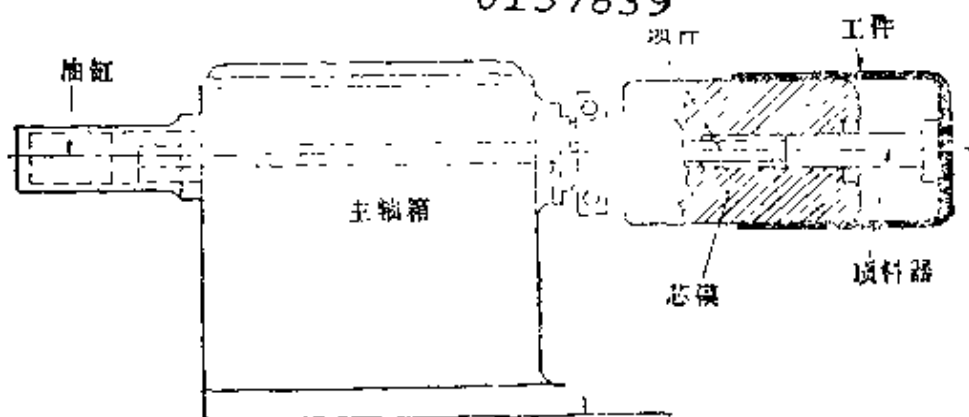
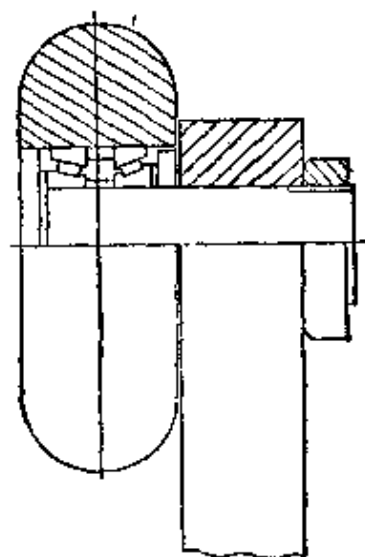


图2-3 顶件器

旋轮虽然随旋压方法的不同而有各种形状，但是其安装方法多采取图 2-4 所示的轴向固定式。有时为了交换使用旋轮以提高生产率而如第四章的图 4-4 所示，将两个旋轮串列起来。

旋轮在旋轮架上安装的典型结构如图 2-5。其中图 a 结构的刚性好。此时旋轮的安装位置由定位键和定心轴确定，在大量生产时安装位置也不会变化，因而成形的重复性好。图 b 是采用压板压紧，旋轮的外伸量和倾斜度可以任意调节，通用性好。图 c 是旋轮的倾斜度可调的另一种安装方法，结构虽然复杂一些但是通用性很好。

图2-4 旋轮的安  
装方法(1)

某些形状的工作在旋压中需要换用两种旋轮。尤其是要求工件表面光洁的场合，用旋轮粗旋后还需换用硬质合金棒（或压头）进行精旋。为此采用了自动换轮（或棒）装置，使全部工作在一道工序中进行。现在正进一步研究用计算机数控（CNC）实现多旋轮的交换使用。

### （3）旋轮的控制和多循环装置

旋轮的控制是由仿型装置来实现的。这种装置一般采用液压伺服阀或电液伺服阀方式。为了进行图 1-3 所示的拉深旋压使用

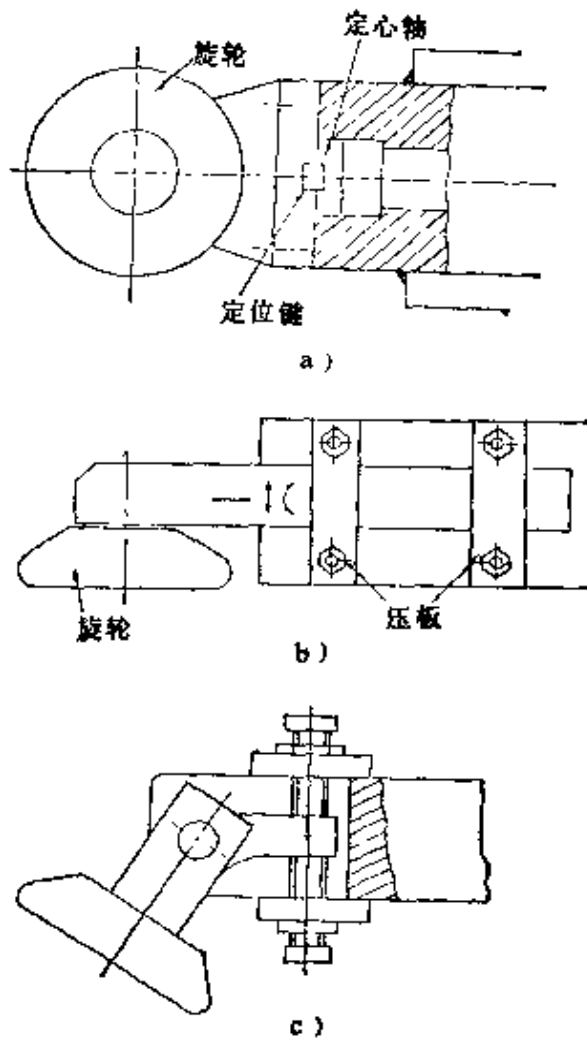


图2-5 旋轮的安装方法(2)

了多循环仿型装置。如图 2-6 所示，活动模板慢慢旋转，限制着仿型器的运动，从而控制着与仿形器联动的旋轮的位置，直到旋轮的运动仿效固定模板为止。活动模板不仅有作旋转运动的，也有作平移运动的，而且分为连续移动的和按每一道次作周期性间歇移动的，可以根据工件的形状和材料加以选用。基于上述情况，从旋轮和毛坯的相对运动来说有下述三种拉深旋压方式可供选择。

往复式——旋轮紧贴毛坯作往复运动，往返都进行旋压成形。

单向式——旋轮只在朝毛坯外缘的行程上进行旋压成形，而



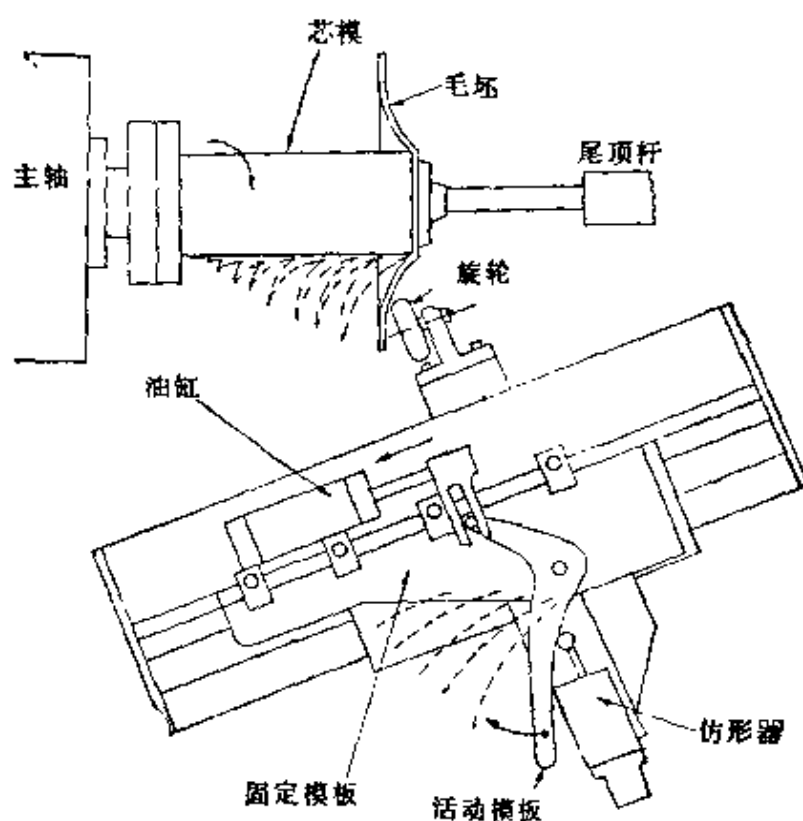


图2-6 用仿形装置进行旋压

在回程上不成形。

混合式——由往复旋压转为单向旋压或相反。

旋轮架的移动速度从低速到高速可以任意选择，视多道次拉深旋压的情况而定。例如，板材开始拉深旋压的第一道次及最后道次可取低速，为提高效率中间道次应取中速，在单向旋压时回程上不成形故应使旋轮高速返回原位。

活动模板的运动和旋轮沿活动模板运动的速度的选择，这是决定旋压能否顺利进行的关键。通过许多试验已经确定了按工件的形状和材料来进行选择的方法。已经确定的旋压道次程序还能够用于以后的形状类似的工件。多道次旋压的中间道次模板可用塑料薄板制造，将它们重叠起来作成多级式模板，并按产品分组加以保存。旋轮的道次程序在逐渐计算机化。使用计算机不但能够存储道次程序，而且能够选择最佳道次。

在成形如图 2-7 所示的复合形状的旋压件时，为了在一道工

序中全部完成剪切旋压、多道次拉深旋压及最终旋压，不仅要确定旋轮运动的起点A和终点C，而且要确定开始直线运动的中间点B。

2.1.2 附属装置及其功能

旋压机主体部分的功能足以能够完成多种形状的工件的旋制，但是为了充分发挥主体部分的作用，进一步满足工件一些辅助的技术要求，还给旋压机配备了各种附属装置。例如，装卡毛坯的定心机构，工件的切边装置和卷边装置（参见图2-8）等。为了防止毛坯在拉深旋压初期起皱而配有如图2-9的反推辊装置，在成形中反推辊被油压驱动而顶压毛坯的背面。为防止毛坯外缘起皱还设计了一种弯边装置，用它弯曲毛坯的外缘以提高凸缘的抗皱力。

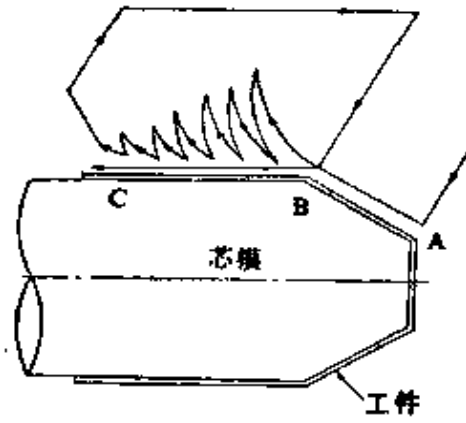


图2-7 旋轮移动位置的选择

例如，装卡毛坯的定心机构，工件的切边装置和卷边装置（参见图2-8）等。为了防止毛坯在拉深旋压初期起皱而配有如图2-9的反推辊装置，在成形中反推辊被油压驱动而顶压毛坯的背面。为防止毛坯外缘起皱还设计了一种弯边装置，用它弯曲毛坯的外缘以提高凸缘的抗皱力。

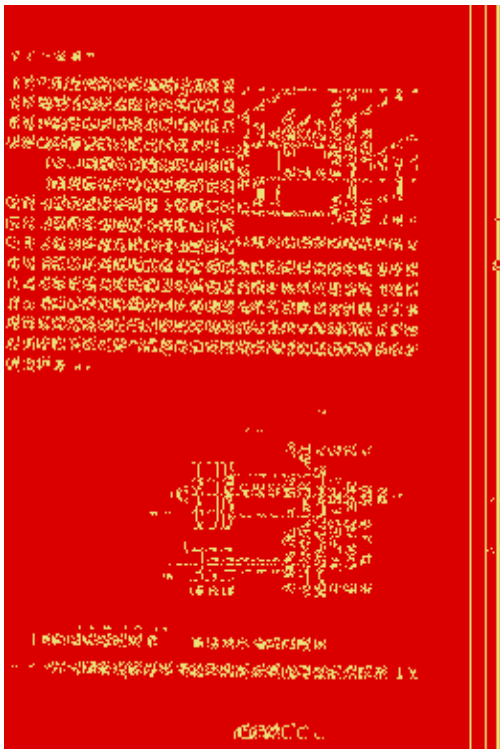


图2-8 卷边装置

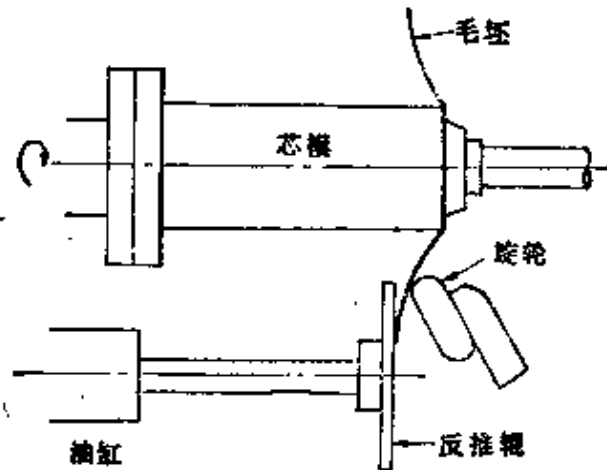


图2-9 反推辊装置

一个形状复杂的工件，从毛坯在芯模上定位安装并进行旋压



成形，然后用附属装置完成辅助工序，直到取下工件的全过程现在都能进行顺序控制。在多道次拉深旋压后进行切边、卷边，或者在剪切旋压后进行多道次拉深旋压再切边，这些工序组合虽然随工件形状的不同而多种多样，但是已经能够做到事先将若干种工艺顺序准备好，在成形时采用转换开关加以转换，或者采用插接板方式的顺序控制器加以选择。近来还采用带微型计算机的程序顺序控制器，从而能任意变更工艺顺序。

为了增强自动旋压机的功能还研制了其他装置。例如，带无级变速器和变速电动机的毛坯转速变换装置，防止受热膨胀的芯模冷却装置，保持液压功能稳定的工作油控温装置等。

### 2.1.3 立式旋压机

立式旋压机的功能大体上同卧式旋压机一样。见图 2-10。

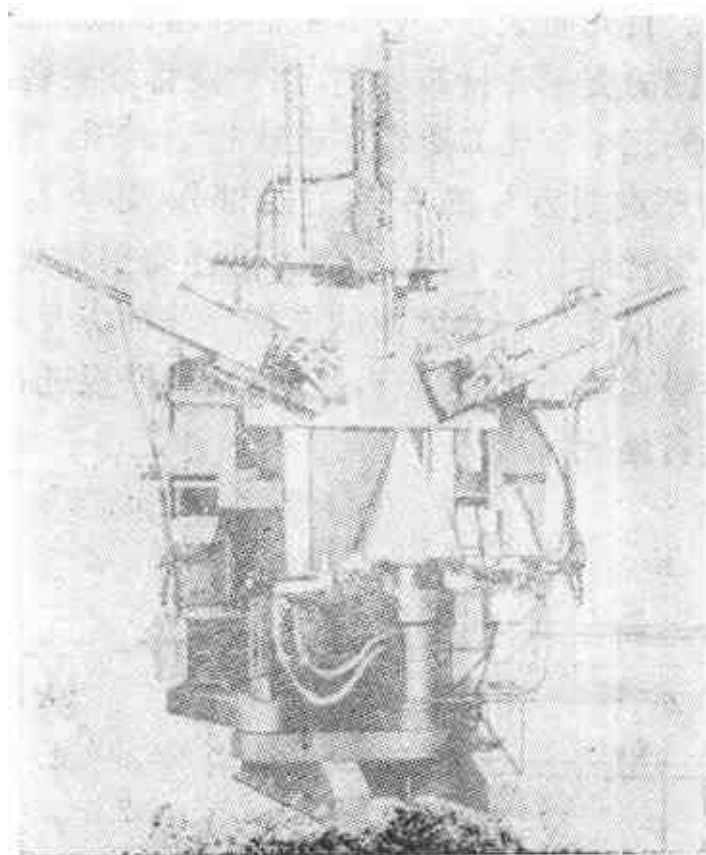


图2-10 立式自动旋压机

这种机型多用来将板坯旋薄成圆锥件，也能用于冲压件的二次成

形、或收颈及管端成形等。冲压设备多的工厂对这种旋压机有好评。图中的旋压机由于有两个对置旋轮因而有两个液压仿形装置，能够合理地成形大型圆锥件。在这种情况下使用无级变速器能够使成形的圆周速度保持不变，从而使工件的表面粗糙度比较均匀。

## 2.2 专用自动旋压机

### 2.2.1 旋压机专用化的趋势

在汽车零件以及照明器具、家用器皿或机械零件的大批生产乃至中小批生产中，很多自动旋压机都用作专用设备，如生产混凝土桩、衬套、三角皮带轮或闸瓦盖的旋压机就是如此。图2-11示出了金属棒球棒在专用旋压机上的旋制方式。由于这种球棒的材料是成形性差的7075高强度铝合金，因此采用了多点同步仿形机构的专用旋压机。首先将装在心棒B上的管坯A用特殊卡盘C卡住，并用尾座一侧的支承导杆D导向，然后使管坯旋转，用装有多点同步仿形装置的三个旋轮E进行多道次拉深旋压。管坯的厚度为 $t_0$ ， $t_1$ 部分的厚度变为 $t_0$ 的 $3/4$ ， $t_2$ 部分变为 $t_0$ 的 $1/2$ 。旋出的长度 $L$ 约为管坯长度 $L_0$ 的二倍。这样的塑性变形能够提高材料的强度，制出完全符合要求的金属棒球棒。专用旋压机仿形装置的原理与普通旋压机的一样，先用活动模板进行粗旋，最后用固定模板进行终旋。

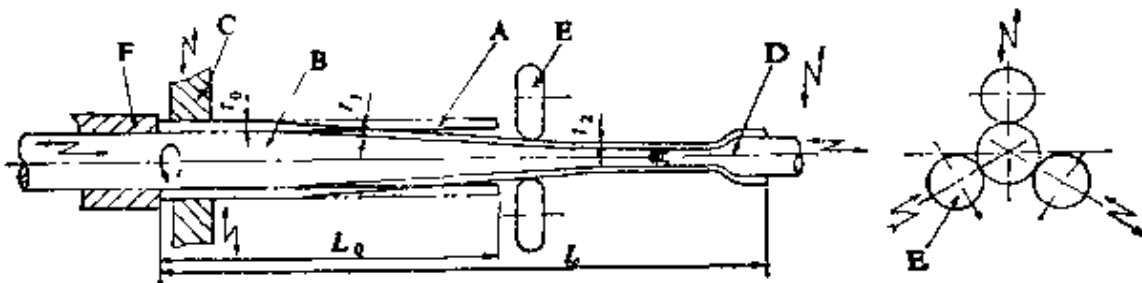


图2-11 金属棒球棒的旋制方法

A—管坯 B—心棒 C—卡盘 D—支承导杆 E—旋轮 F—挡管

用旋压能够制造出很复杂的工件，以至有些工件必须用旋压

才能成形出来。在这种情况下就更该考虑并应用 2.1 节所述通用旋压机的成形原理，以一道工序完成由毛坯到成品的全部成形过程。有的场合下大型旋压机被用作特定专业的专用设备。这时虽然机床类型变了，但是从根本上来说所用的加工原理还是旋压成形。

### 2.2.2 筒形变薄旋压的专用旋压机

图 1-5 所示的筒形变薄旋压的应用范围很广。它不但能单独使用，而且能与其他加工方法组合用来制造各种机械零件。这些零件虽然可以用上一节所述的通用旋压机进行成形，但当工件大而重时，则以采用床身上架着鞍座（配有三个旋轮）的专用旋压机更适宜。在图 2-12 所示的较大大型专用旋压机上有刚性大的三角框架式鞍座用于安装旋轮架。鞍座能够相对主轴中心线作平移运动，以进行筒形件正旋和反旋。给它配备的多道次仿形装置能够自动控制旋轮的横向进给量。为了消除成形中的发热量而备有大流量冷却润滑循环装置。此外还备有装料和卸料装置。

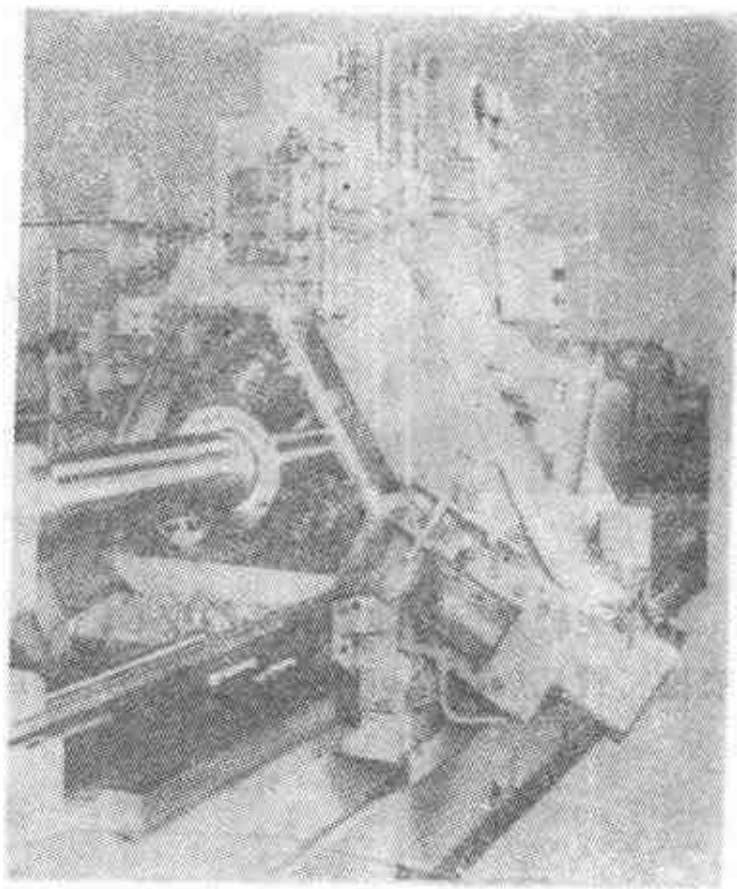


图2-12 三旋轮筒形变薄旋压专用机的旋轮部分

### 2.2.3 管端成形专用旋压机

为将管材的端部成形为球状或其他形状而制造了专用旋压

机。例如，生产高压气瓶的旋压机能够旋出直径25~360mm、长200~6000mm的各种气瓶。成形是通过旋轮在水平面内的转动使管端慢慢收缩，经过多道次拉深旋压完成的。其详细情况将在第五章叙述。图2-13是这种专用机的一例。它的特征是不采用模板，旋轮进给是采用数控、由转台和鞍座的三坐标联动来实现的。

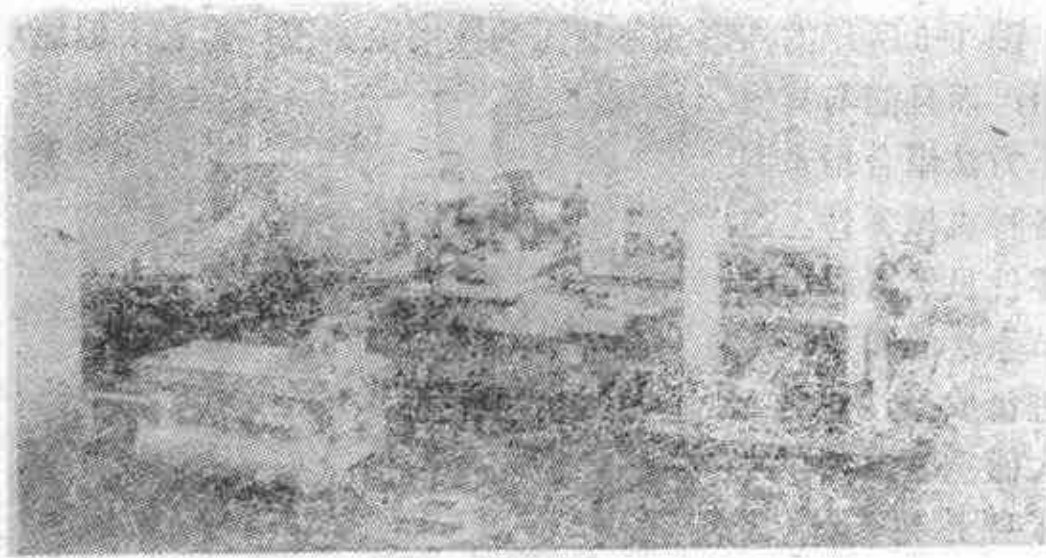


图2-13 管端成形专用旋压机

机床主轴是配有弹簧夹头的空心轴，将管坯插入其内，用火焰喷枪将管坯加热到1100°C左右进行热旋压。为便于装料和取出

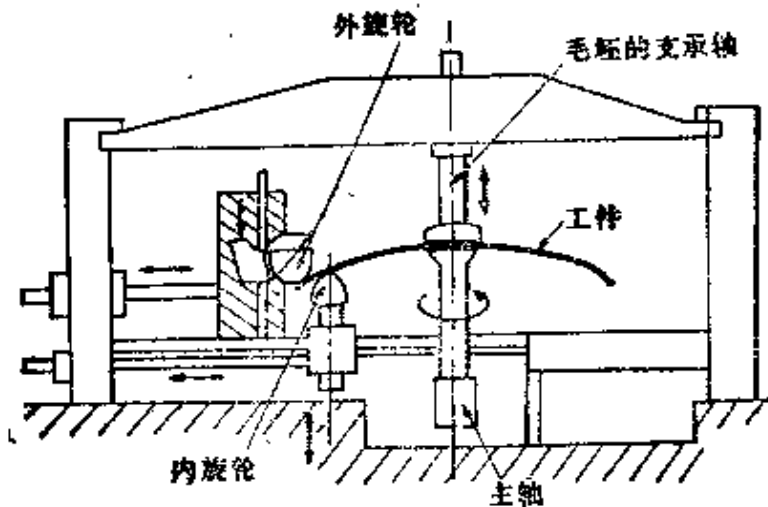


图2-14 立式翻边机

成品必须考虑工件的尺寸，如果工件很重就需加大外围装置。

#### 2.2.4 封头成形专用旋压机

不太大的封头虽然能够用冲压成形，但是由于封头尺寸规格的多样性，故最好是采用旋压成形。这种成形虽然也能采用大型卧式旋压机，但是常用的是图 2-14 所示的立式旋压机，又称为翻边机。工作时将预制的碟形半成品夹于两个旋轮之间，通过外缘翻边来旋制曲线型封头。这种机床是可以用来进行冷热成形的专用设备。

### 2.3 日本的自动旋压机

从小型到大型的各式通用自动旋压机已经用于各种产品的制造。旋压机的大小通常是用能够加工的毛坯直径来确定，并由旋压机的中心高来表示的。随着中心高的增高，主轴直径、床身长度、旋轮架的移动量或拖动力也都相应增大。有的厂家还利用可能加工的毛坯厚度向用户说明旋压机的加工能力。这是因为成形力和功率与毛坯的厚度和材料的强度直接有关。附带说一句，主轴的转速越高则旋压机越小。

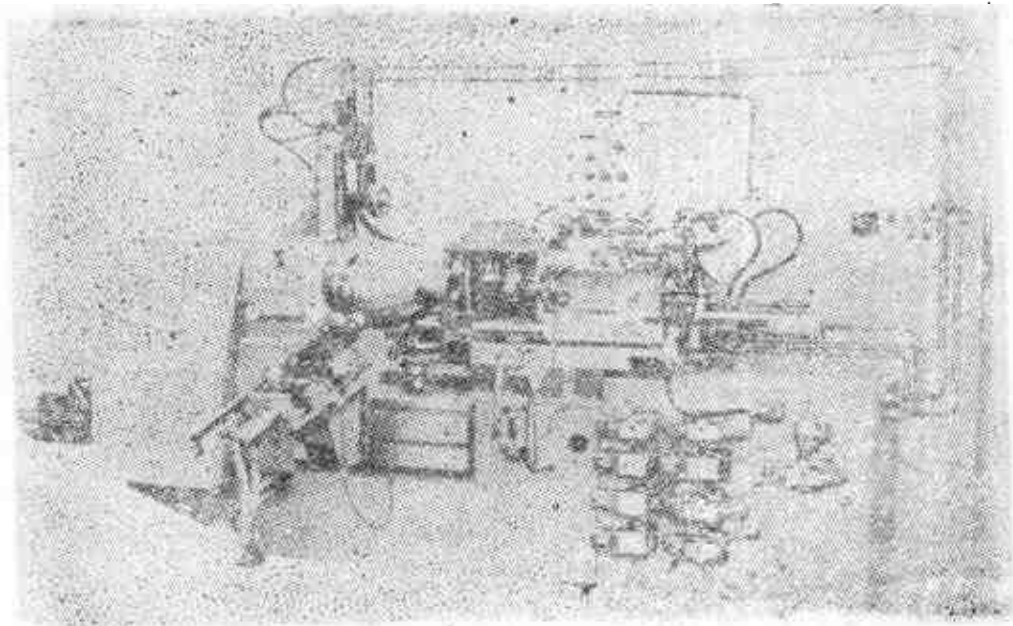


图2-15 标准自动旋压机示例

日本产销的标准旋压机的主要规格见第八章的附录。各公司

的旋压机具有各自的特点，但是表示加工能力的中心高的差异不大。总的来看，可成形的最大板厚是铝材为12mm，冷轧普通钢板（SPC）为8mm，不锈钢板（SUS）为5mm。各公司设计制造的旋压机采用了各自的传统技术，不但对刚性而且对生产率、操作性和安全性等都作了充分的考虑。图2-15是标准大小的US500型旋压机的全貌，图2-16是比US500稍大的SF1000型旋压机的装配情况。此外还制造了用途不同、功能不一的各种大型专用旋压机。

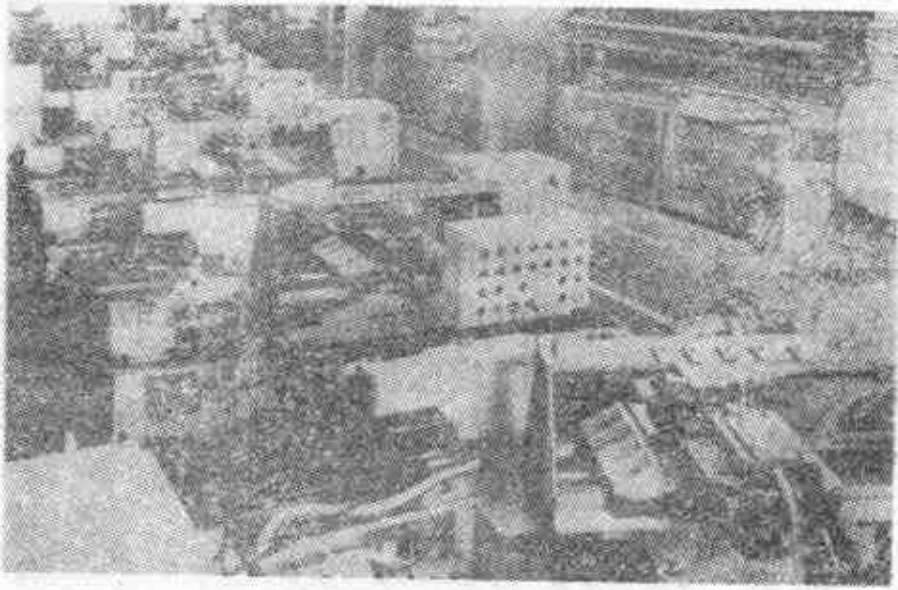


图2-16 自动旋压机的装配情况



## 第三章 旋压成形技术的经济性

用旋压制造轴对称空心件在经济上是否比其他成形方法更优越，这是确定旋压使用价值的重要问题。当制造某种形状的机械零件时，决定其经济性的基本因素有产量、设备费和必要的劳动量。诚然要通过对这些因素的全面评价来审查经济性是困难的。为方便起见，可通过与其他成形方法的比较，按当场能够测算的因素来进行评价。这些因素包括材料费、工具费和工时是否少，零件的强度和精度是否高，以及是否改善了加工环境等。由本书介绍的成形实例可知，旋压在机械零件的制造中应用得很广泛，从轻型的到大而重厚型的以及附加价值高的零件，这就有必要按上述观点分析它的经济性。

### 3.1 由经济效益评价旋压工艺

有些形状的零件如圆锥形、抛物线形和椭圆柱形等各种曲面薄壁回转件用旋压成形最合适，用其他成形方法则难于仿效。这些零件的旋压应与冲压成形、液压胀形和液压橡皮模成形进行经济性比较。图 3-1 是圆筒形、圆锥形和盘形件采用旋压与冲压的产量及单价的比较。圆锥件用变薄旋压成形，其形状精度高、表面光洁、成形时间短、能够大量生产，体现了对于特定形状采用旋压成形的优越性。相反，对于难以旋压而主要是难以拉深旋压的形状来说，产量一大旋压方法就不及传统的冲压等方法。有的产品虽然适合旋压，但是不能进行变薄旋压而只能采用拉深旋压。这时候就需要较长的成形时间，因而适于多品种小批量生产。

对于图 3-1 中的圆筒件来说，产量如果在 1800 件以下，从冲压模具的制造费用和调整时间来衡量则采用多道次拉深旋压更为

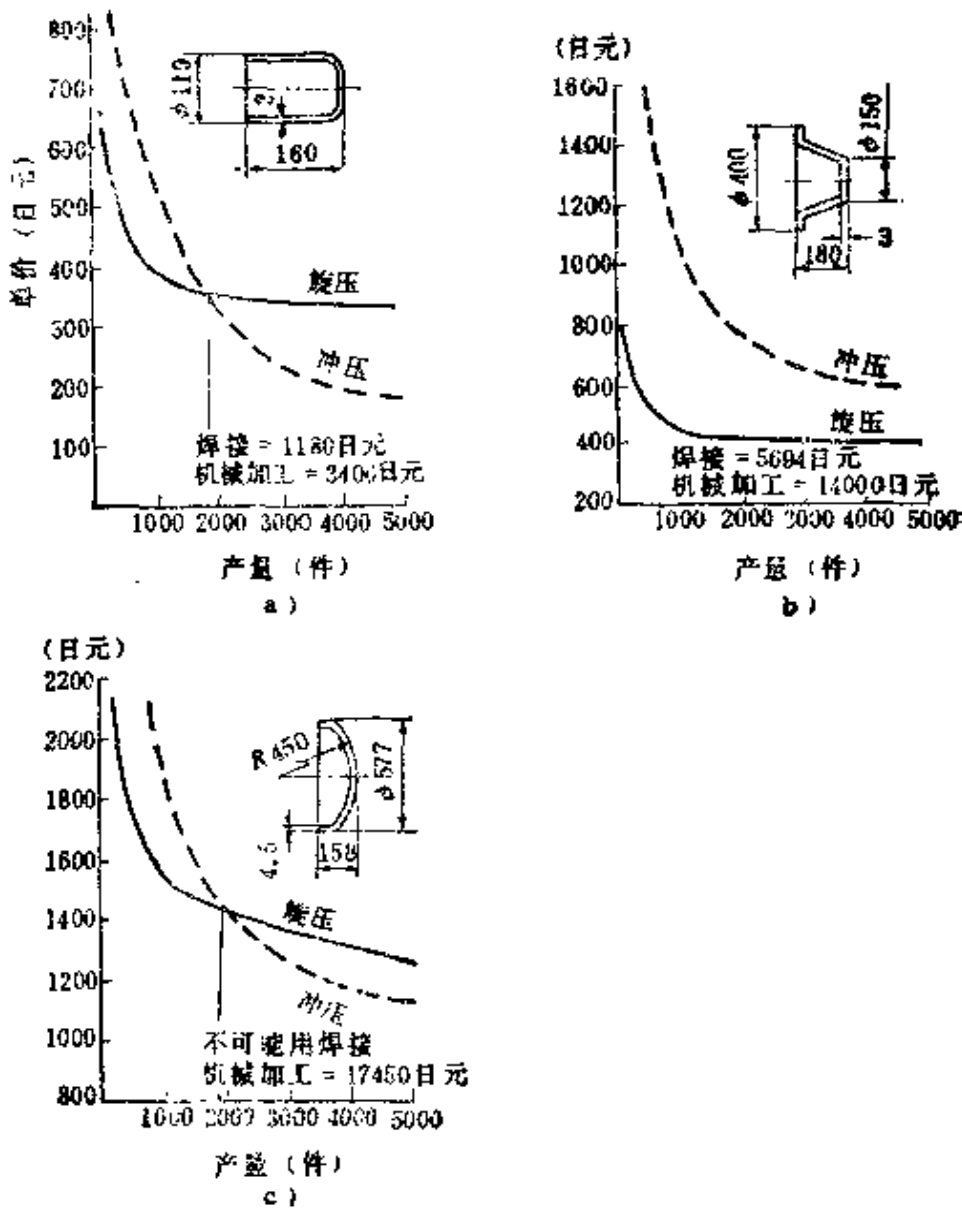


图3-1 产量与单价的关系

a) 圆筒形件 b) 圆锥形件 c) 盘形件

经济，如果大于这个产量则相反。但是如果采用较厚的板材则在自动旋压机上只需一道次旋压就能容易地旋出长的筒形件，详见第四章的图 4-3 所示。这时采用小拉深比的一道次拉深旋压与筒形变薄旋压结合起来，使效率显著提高。例如，旋制一个直径 150mm、高 150mm 及壁厚 1 mm 的筒形件，成形时间不超过 30 s，一小时能够生产 100 个。

如图 1-2 所示，许多工件的形状很复杂，不用旋压就不可能

成形。在成形这些工件时毛坯形状的选择有可能左右旋压的经济性。这时候可用形状简单的预制件作毛坯。如图 3-2 所示, 先将

不锈钢板冲压成图 a 的形状作为毛坯, 用锥形和筒形变薄旋压一次制出成品如图 b。如果对这个示例选用板坯, 采用多道次拉深旋压则因不锈钢板会产生加工硬化而需要中间热处理, 成本就高多了。采用

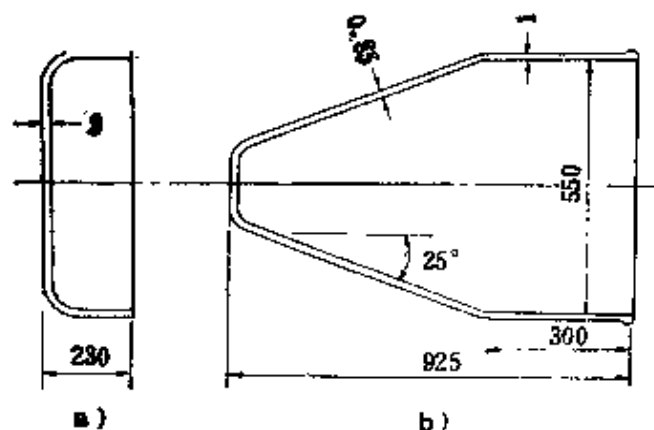


图3-2 以冲压件为毛坯的旋压示例(不锈钢板)

冲压与旋压的复合工艺, 或者铸造、锻造及切削加工与旋压的复合工艺能够大大提高生产率。

管材的加工有多种方法。用旋压对管体、管端或管壁进行成形的经济性比其他方法好。例如用热旋压对钢管进行管端成形, 其质量、生产率和经济效益都高于热锻, 而且没有振动和噪声。

旋压的一个特点是能够经济实惠地完成多种辅助成形。例如, 对各种薄壁件进行局部胀形, 对工件卷边, 与其他构件卷边连接, 在工件上压环状筋等。对称旋转件的这些辅助成形除用旋压以外没有其他合适的方法。对于汽车的轮辐和风扇皮带轮等大批量制品, 旋压是非常有效的成形方法。

### 3.2 以旋压代替原有工艺的实例

有些零件原来用其他方法制造, 改用旋压成形后降低了成本, 提高了强度。下面先举几个实例, 在第五章再作更多的叙述。图 3-3 是纤维机械上的滚筒。原来它是用圆棒料经切削加工制成的, 后来改用板材经简单拉深旋压而能降低成本、减轻重量, 加工方法参见图 4-4。图 3-4 也是圆筒形滚子, 原来是在钢管两头压入

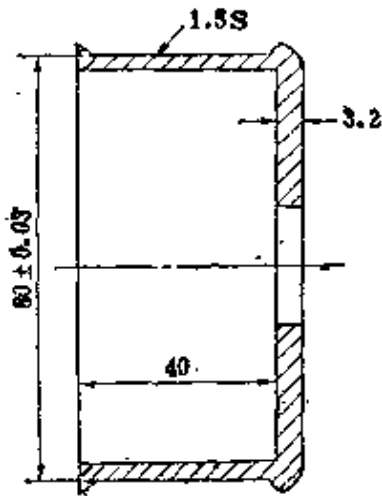


图3-3 旋压的滚筒(冷轧普通钢板SPC, 椭圆度0.02)

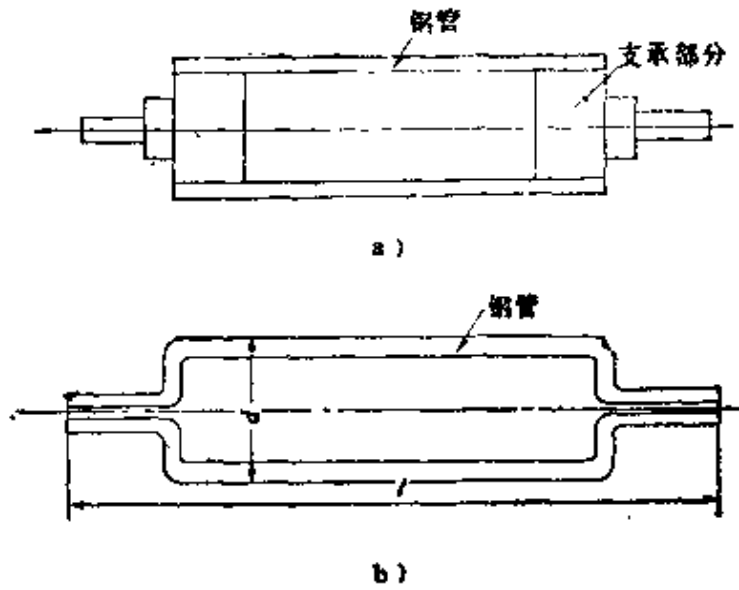


图3-4 圆筒形滚子

支承并经切削加工而成如图 a。改用热旋压后, 对钢管两端进行旋压制成整体滚子如图 b。这种方式能够旋出直径  $d$  为 50~360 mm、长度  $l$  达 5000mm 的一系列尺寸。

图 3-5 是汽车轮辐, 其厚度向外周渐薄。此件原来是冲压成形的, 先用圆锥轧辊热轧圆板使其向外周逐渐减薄, 然后切边、酸洗, 最后冲压成如图所示的形状。改用旋压后用圆板坯直接进行剪切旋压则只需一道工序就能成形出这种零件。按 35 s 左右旋制一件计算, 能够进行每小时一百件的大量生产。如果设置两个乃至三个旋轮, 调整每个旋轮的加工量, 还能进一步提高生产率。采用旋压减少了工序, 节约了工具费, 获得了很大的经济效益。汽车零件中除轮辐以外还有减震筒、制动缸、卡车轮的轮辋以及铝轮(辐板和轮辋是整体式的)等零件都能用旋压进行大量生产, 因经济性好而很受欢迎。

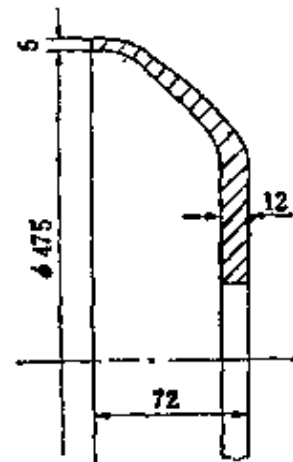


图3-5 轮辐

图 3-6 是混凝土搅拌桶。原来鼓桶的两个端头是用板材经卷板和焊接制成的。改用旋压后，采用厚 3.2mm、直径 830mm 的普通热轧低碳钢 (SPHC) 的圆板坯，大致经过 10min 就能旋制两个圆锥形端头。采用旋压后无需复杂的下料、卷边和焊接，从而大大缩减了工序并提高了产品质量。圆锥端底部的凹面或筋是用来提高搅拌桶的刚性的，用旋压来成形也很简便。

图 3-7 是洗衣机大转子由铸造改为旋压的例子，转子应具有耐蚀性，所以原来是用黄铜铸件 (BsC4) 制成 (图 a)。经过改进后，将直径 930mm、厚 4.5mm 的普通冷轧钢板 (SPCC) 经旋压成形，再将直径 940mm、厚 2mm 的 SUS304 不锈钢板旋压成同样的形状，然后将两者胶接在一起如图 b。这种结构既完全满足了强度和耐蚀性的要求，又减轻了重量和降低了成本。

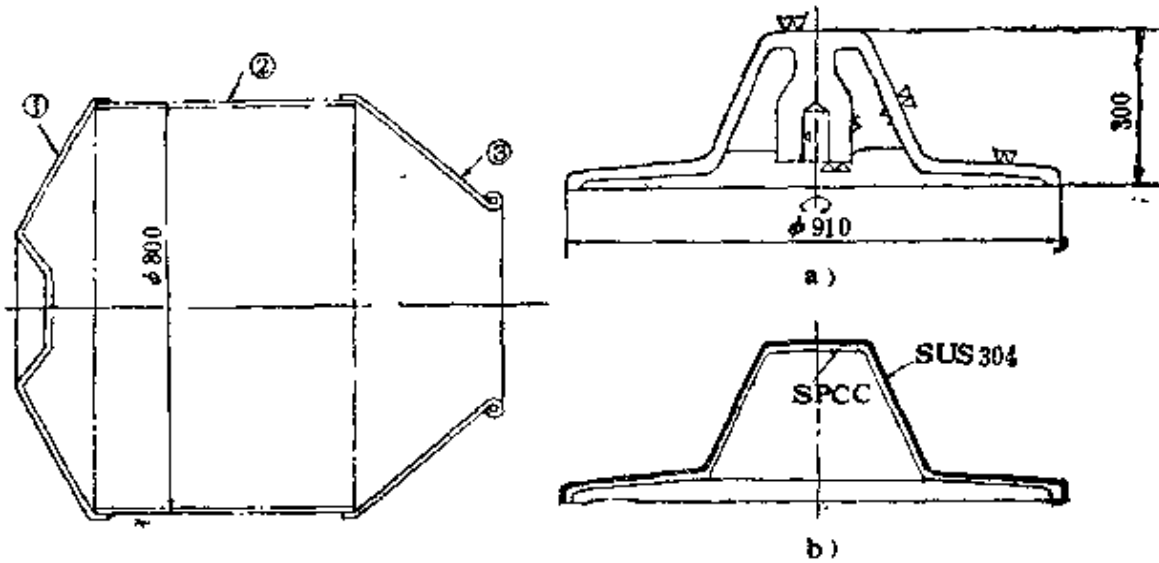


图 3-6 混凝土搅拌桶

图 3-7 洗衣机的转子

上述几个例子说明，用旋压代替原有工艺能够取得多方面的效果。除以上的例子外，还有一些将冲压、切削加工、铸造或锻造改为旋压的报告。为了更好地提高旋压的经济效益，进一步运用复合加工，还希望与其他专业的技术人员进行认真的研讨。

## 第四章 旋压的基本加工方法

用旋压制造各种剖面形状的产品，需要单独应用或者混合应用第一章 1.3 节所述的各种旋压方法。作为毛坯有板材、管材或经冲压、锻造及切削加工的预制件，相应地要选择效率最高的旋压方法。各种旋压方法各有适宜的工艺条件，一旦误用，工件就会起皱、开裂或者达不到要求的壁厚、外形尺寸及表面粗糙度。为此，在本章中对几种基本的旋压工艺方法加以论述。有效地利用这些基本的概念就能制造出第五章所述的实际产品。

### 4.1 拉深旋压成形技术

在产品加工中用得最多而具有代表性的成形技术就是拉深旋压。它是以径向拉深为主体而使毛坯（板材或预制件）直径减小的成形工艺。也可以说它与拉深成形相类似，但不用冲头而用芯模，不用冲模而用旋轮。由于是靠旋轮的运动旋制工件，所以与拉深相比其加工条件的自由度更大，能制出很复杂的回转对称体。因此，把拉深旋压的成形技术说成是掌握旋轮运动的规律并不算过分。

#### 4.1.1 简单拉深旋压的成形技术

图 4-1 是用直径为  $D_0$ 、厚度为  $t_0$  的板坯制出内径为  $d$ （与芯模的直径相同）的圆筒形旋压件。下面分析一下它的成形情况。当  $D_0$  小时只能制出短圆筒件，但是成形非常容易，只需采用简单拉深旋压即可。 $D_0/d$  称为拉深比，其值小时旋轮只需沿芯模移动一次即进行一道次拉深旋压就能成形。为区别于多道次拉深旋压而称它为简单拉深旋压。旋轮只应沿芯模运动以保证它与芯模的间隙  $c$ 。在实际成形中还需考虑下面几个问题。

1) 旋轮的形状。通常选用直径为  $D$ 、顶端圆角半径为  $R$  的

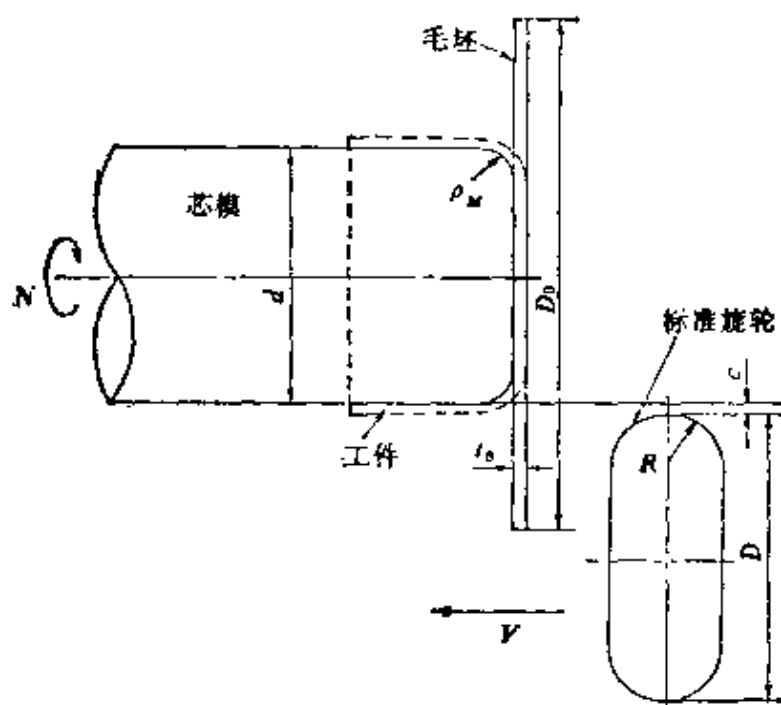


图4-1 简单拉深旋压和标准旋轮

圆弧状旋轮。将图中所示的旋轮称为标准旋轮。

2) 旋轮的进给速度。通常用拖板运动的速度  $V$ , m/min 表示, 但由于在判断成形的效果时要考虑毛坯的转速, 因此毛坯每转的旋轮移动量  $V$  mm/r 的大小是极为重要的因素。例如在进给速度  $V$  不变的条件下, 如果毛坯转速增加了一倍, 则旋轮相对毛坯的运动距离变为原来的二分之一, 这样瞬间成形量就变小了。

3) 芯模的形状。在图 4-1 的情况下芯模是圆柱形, 其直径为  $d$ , 端部拐角处的圆角半径为  $\rho_M$ 。在其他情况下芯模的形状随旋压件的形状而异。

4) 毛坯的转速。要判定所采用的转速  $N$  能否完成加工, 总要与旋轮的进给速度联系起来考虑。如 2) 中所述, 可以在旋轮进给速度不变的条件下改变转速, 或者在转速不变的条件下改变旋轮的进给速度。

5) 毛坯的尺寸和性质。拉深比  $D_0/d$  或板坯的相对厚度  $t_0/d$  是拉深旋压能否顺利进行的重要参数。至于毛坯的材料, 一般来说硬料 (H 料) 和半硬料 (H/2 料) 不适于拉深旋压, 所以多选

用软料（O料）。

下面大致说明用简单拉深旋压制造短圆筒件时，上述事项对旋轮的运动有什么影响。

从极限拉深比（成功地进行旋压的指标）来看，可以说旋轮直径  $D$  几乎没有影响，而旋轮圆角半径  $R$  越大，则毛坯与旋轮行进前方的接触越平缓，工件就不容易起皱，因而有利于加大极限拉深比。而且  $R$  加大了，壁厚就不容易减薄或产生颈缩。因此一般认为采用大的圆角半径比较好，常用值是  $R/t_0 > 5$ 。

加大旋轮的进给速度工件就容易起皱。反之进给速度太低，则在成形終了之前毛坯与旋轮的旋转接触次数增加，使毛坯的同一处的摩擦次数增多而易导致壁部的破裂。因此旋轮的进给速度应从它与毛坯转速的关系上去考虑。旋轮运动的这条原则以及旋轮的形状，对拉深旋压来说都是很重要的。

在芯模端面的圆角处成形时，难于使旋轮在行进中沿着圆角接触板坯。若芯模圆角半径  $\rho_M$  大则工件容易起皱，反之圆角太尖即  $\rho_M$  小了工件就会断裂。因此在圆筒件的简单拉深旋压时应该选择适宜的  $\rho_M$  值

芯模直径  $d$  可以从它与毛坯直径  $D_0$  及其厚度  $t_0$  的关系上进行探讨。 $t_0/d$  越大极限拉深比就越大，板材越薄起皱就越严重，故越难成形。此时要改变其他成形条件，如降低旋轮的进给速度等，或者采取后面将要叙述的其他防止起皱的方法。 $t_0/d$  大有利于防皱，但在成形終了阶段材料有可能向旋轮背面反流，致使工件出现鼓凸。产生这种现象的原因是拉深旋压中板厚增加，使得成形終了阶段呈现筒形变薄旋压的现象。

为了消除上述缺陷，可以采用图 4-2 所示的旋轮，在标准旋轮形状的基础上加台。但采用这种旋轮时如果旋轮速度太低材料就容易作周向流动，使工件直径增大离模，精度变差。

在这种情况下当然就有图 4-1 中旋轮与芯模的间隙  $c$  的设定问题。即使使间隙  $c$  等于板坯厚度  $t_0$ ，也会因壁厚增长得比  $t_0$  大而出现减薄现象。在  $c/t_0 < 1$  即间隙小于板厚的情况下既有拉深



又有减薄，就成了拉深变薄旋压。这时工件会加长，极限拉深比也会增大一些。因此简单拉深旋压时，可以将间隙取得小于板坯的厚度 $t_0$ ，从而在带有减薄作用的条件下成形。

图4-3是由这种方法发展而来的复合成形法。在成形中采用稍厚的板坯并选择达到极限拉深比的毛坯直径，在进行拉深旋压的同时迫使工件进行筒形变薄旋压。拉深旋压是借旋轮的大圆角半径部进行的，而壁厚减薄则是用旋轮另一端的突起部分来完成的。当然也可以把这种旋轮做成如图4-4所示的非整体式的，将两个旋轮串列起来形成由拉深旋轮与变薄旋轮组合而成的特殊旋轮。这样能够获得直径精度高和表面光洁的旋压件，可以用于滚筒形机械零件，如用于纤维机械的各种滚子的大量生产。

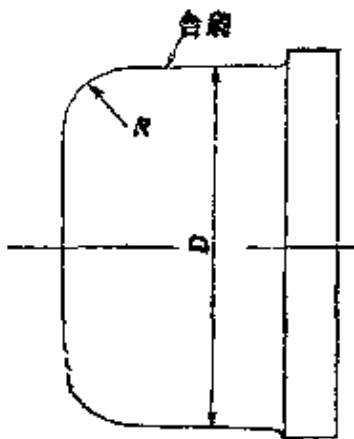


图4-2 带台旋轮

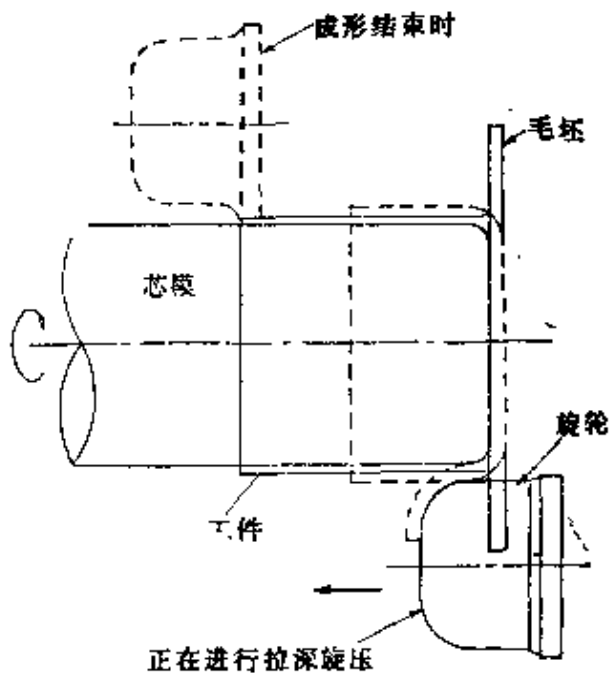


图4-3 拉深旋压—变薄旋压的复合加工

有的旋压机上还采取双旋轮对置的方式，一侧的旋轮主要进行拉深旋压，另一侧的旋轮进行筒形变薄旋压，对两个旋轮分别进行控制。这种方式操作简便，适于机械零件的大量生产。

对于常用的铝板和碳钢板来说，如果具有一定的板坯相对厚度 $t_0/d$ （大致在0.03以上），极限拉深比等于或小于1.8~1.85就

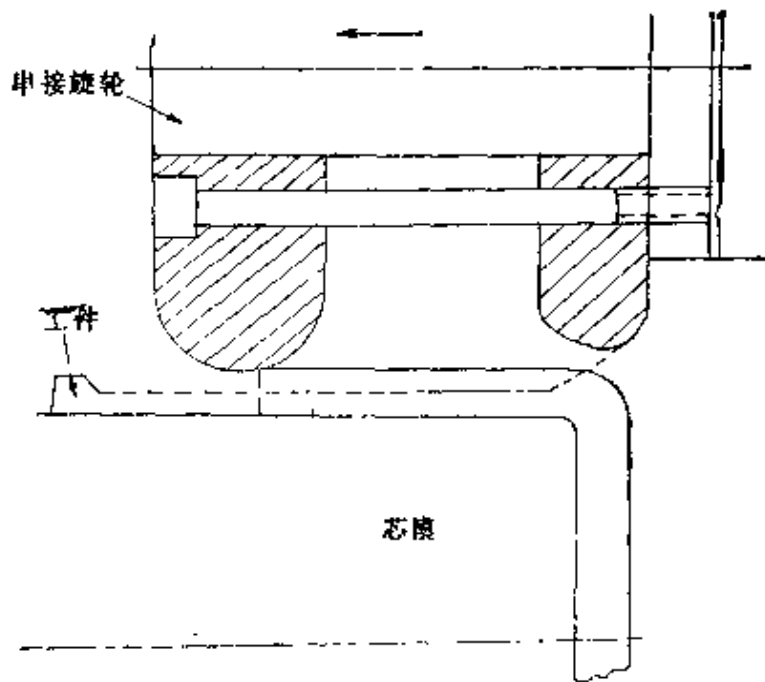


图4-4 采用串列旋轮的拉深旋压—变薄旋压的复合加工

能够进行简单拉深旋压。航空与航天用的镍合金等材料各自也有这种数据，但工艺条件尚不清楚而只能当做参考值。上述简单拉深旋压也有人称为一道次拉深旋压。

#### 4.1.2 多道次拉深旋压的成形技术

简单拉深旋压的极限拉深比小，所以其应用范围有限。对于拉深比大的深圆筒件或其他形状复杂的工件需要采用多道次拉深旋压。下面阐述这种成形技术。

首先对图 4-1 的最普通的圆筒件成形进行研究。成形方法如第二章的图 2-6 所示，通过旋轮的多循环移动将毛坯逐次旋成成品，而旋轮借靠模仿形装置按指定方式自动往复运动直到旋出零件。与简单拉深旋压相比，其加工行程加长了，使成形时间也相应地有所延长，但是成形过程的重复性好而且成形稳定。多道次成形的关键是旋轮移动行程的构成及与此相关连的旋轮移动的原则。

如图 4-5 所示，旋轮的运动是通过仿形装置的上下两块靠模板来实现的。上面的固定模板的仿形型面与芯模的形状相同，下

面的摆动模板绕支点  $P$  转动。仿形器先沿摆动模板运动，最后沿固定模板运动。仿形器将仿形动作传递给旋轮，使其进行逐次拉深旋压。确定板坯逐次拉深旋压的方式需要考虑工件的形状、尺寸和成形时间，并注意以下五个重要因素。

1) 毛坯的尺寸和性能（直径  $D_0$ 、板厚  $t_0$  和材料的机械性能）；

2) 旋轮的形状（圆角半径  $R$ ）；

3) 模板的形状，

4) 模板的移动间距  $P$ ；

5) 旋轮的进给速度  $V$ 。

（1）毛坯的尺寸和性能

确定毛坯的直径  $D_0$  时如果按板坯厚度的变化来计算那就太麻烦了，所以通常是通过估算表面积来大致确定。对于复杂的形状可以把它分成若干基本单元进行计算，然后累加得出毛坯的面积。考虑到工件壁厚的变化和成形后边缘不齐，毛坯直径最好定得稍大。工件的壁厚随旋轮运动情况的不同而变化很大，一般来说比冲压更容易变薄，容易使圆筒件拉长。但在旋压的场合易于进行切割，可以对长度作必要的修正。要求的最小壁厚则通过旋轮的形状及其进给速度以及其他因素进行控制。在对行程的各个阶段都能保持稳定的问题进行充分考虑后，就可以预选板坯的厚度  $t_0$ 。经过一定的试旋后就可以确定毛坯最经济的直径和厚度。

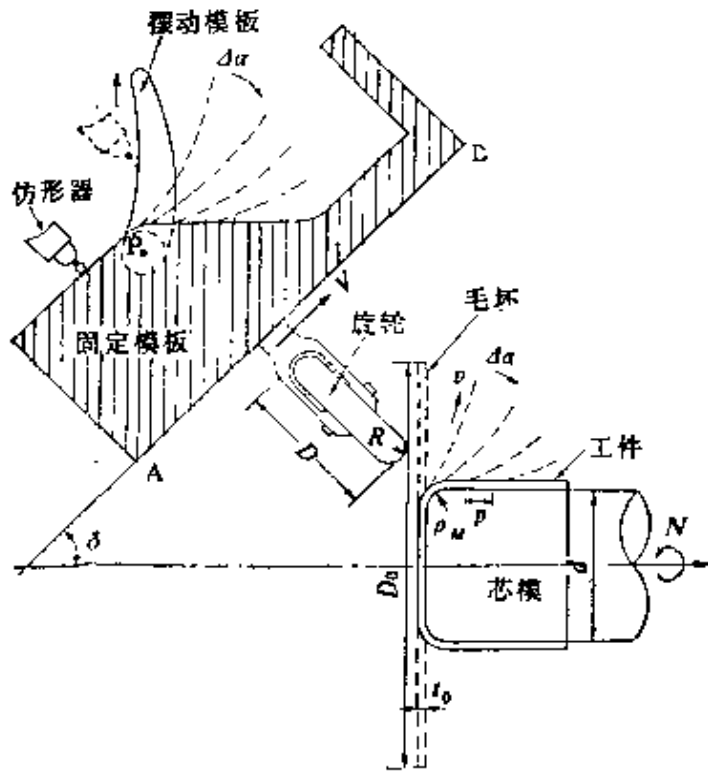


图4-5 多道次拉深旋压

考虑经济性时，要对零件的制造进行综合评价。因此对于形状复杂的零件可以不采用板坯而采用冲压等加工的预制坯进行复合成形，参见第五章的成形实例。

对筒形件旋压来说，拉深比 $D_0/d$ 越大且板坯相对厚度比 $t_0/d$ 越小，多道次拉深旋压就越困难。当采用 $D_0/t_0$ 为指标来衡量时，则 $D_0/t_0$ 越大越困难。所谓困难是指成形参数的选择范围窄，容易起皱，壁部容易开裂。毛坯的外缘最好还是整齐地冲切出来，这样可以防止旋轮通过时因拉伸和弯曲作用而导致毛坯外缘产生纵向裂纹。

毛坯材料按需要而定，但拉深旋压时要求它具有一定的延伸性，故通常都使用软料（O料）。不过这种材料的加工硬化指数 $n$ 大，总是容易起皱。硬料（H料）和半硬料（H/2料）的 $n$ 值小故不易起皱，但它们的延伸性差，壁部容易被拉裂。要求两者兼得是困难的，当对防皱有利时却总是对防裂不利。因此一般还是使用软料，当然使用半硬料的可能性也是存在的。

第二章的图2-9中出示了反推辊装置。在成形中毛坯承受着瞬时周向弯曲变形，采用反推辊后毛坯背面受压，使曲率半径加大，弯曲就变得较为缓和。这在成形的前期是必要的，但当旋轮行走一小段、凸缘开始倾斜的时候就没有必要了。如果在没有必要使用的时候还继续使用反推辊，往往会影响毛坯的延伸。

另外一种常用的方法是在进行第一道次旋压之前，用工具夹持旋转着的毛坯外缘将其进行预弯边。弯边后再进行多道次拉深旋压就减少了起皱的趋势，从而使工艺条件得以放宽，使生产率得以提高。有的旋压机装有自动弯边装置。此外，采用弯边还可以减少因凸缘翻转大而和旋轮之间产生的噪声。

从感性上来衡量材料的成形难易度，在用得最多的材料中铝板最容易成形，其次是钢板、铜板以及不锈钢板。而在铝材中铝合金较难成形，铜材中黄铜较难成形。

## （2）旋轮的选择

多道次拉深旋压时，通常选用如图4-1所示的圆角半径为

$R$ 、直径为  $D$  的标准旋轮。对于旋轮直径究竟选多大，其决定性因素现在还不清楚，一般认为毛坯直径大时可以选得大一些。对全日本使用的旋轮直径进行了调查，从结果来看是40mm到300mm都选用了。用这个尺寸范围的旋轮制造了最大直径为50mm至1000mm的旋压件。通常认为，选用旋轮直径需要考虑旋压件的最大直径以及板坯的材料和厚度，但是从图4-6的调查结果中完全看不出旋轮直径随着旋压件直径的增大而增大的关系。

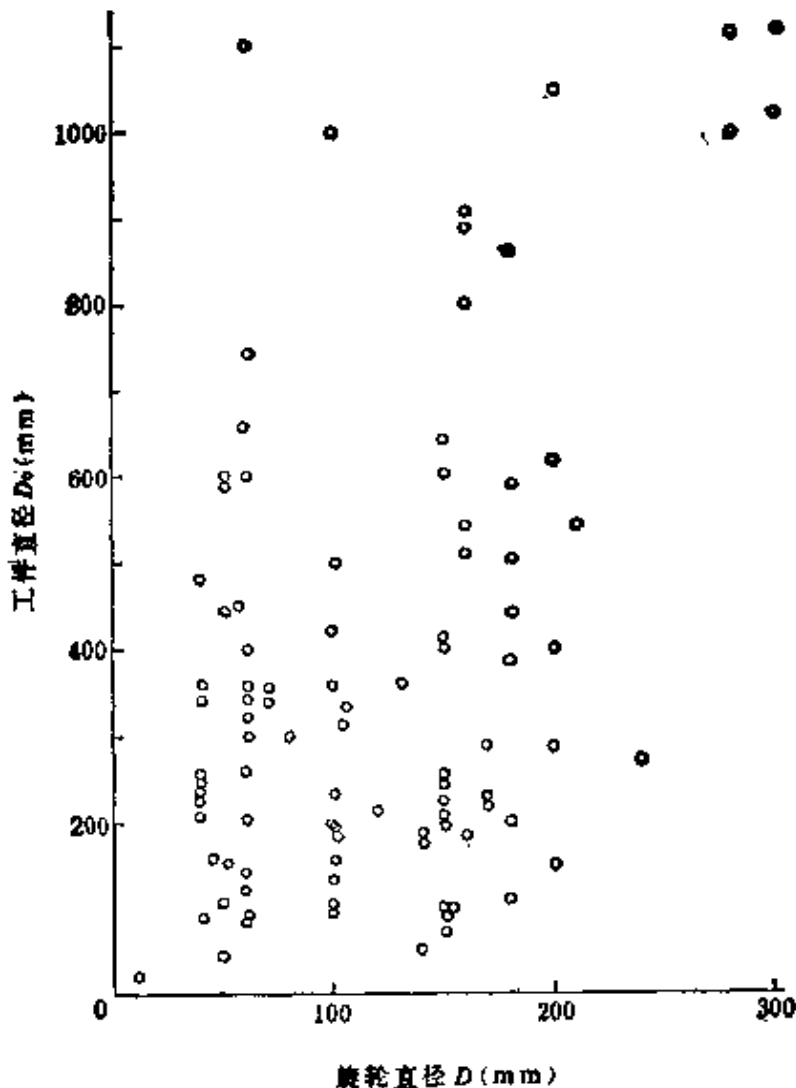


图4-6 旋压制件直径与旋轮直径的关系

如前所述，旋轮圆角半径  $R$  是一个很重要的参数。它与毛坯材料和拉深旋压的方式等有关连，不过大体上能够作出如下的判断：在进行第一道次旋压时采用较大的  $R$  比用小  $R$  容易起皱，这

与4.1.1项所述适于较小拉深比的简单拉深旋压的情况相反。而且如果 $R$ 取得大则即使在第二道次以后即开始形成圆筒侧面时还有可能起皱。因此如图4-7所示，通常在第二道次以后使旋轮的圆角部分在毛坯上形成环节，使凸缘在变形中非常稳定而不必担心起皱。环节的形成与旋轮的进给速度有关，更与旋轮圆角半径的大小直接有关。若 $R$ 过大则环节难以形成，凸缘不稳定（图4-7b）而容易起皱。若 $R$ 过小则在旋轮把环节一直推向毛坯外缘而完成拉深之前，旋轮行进的局部阻力加大，使壁部减薄而容易断裂。因此 $R$ 应视环节的形成程度而定。再者，如果加大 $R$ ，其结果虽然使板坯厚度减薄得很少并能使工件表面比较光洁，但是工件与芯模贴合不好，不适于直径精度要求高的工件。此外，一般还认为 $R$ 增大，旋轮与毛坯的接触面积增大，旋轮的压紧力也增大。

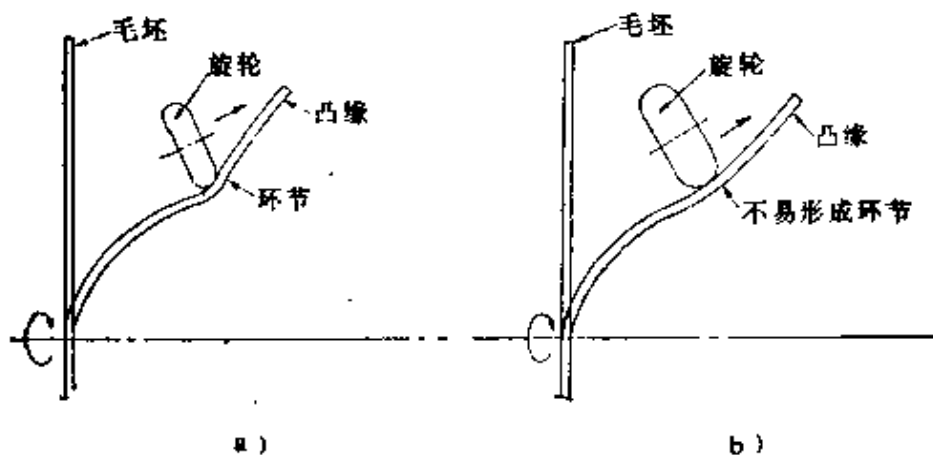


图4-7 环节的形成情况

a) 旋轮圆角半径小的情况 b) 旋轮圆角半径大的情况

考虑上述情况并加上实际经验就能选择圆角半径 $R$ 。实际使用的例子示于表4-1。对于图4-8所示的拐角处带有小圆角的工件，为了旋出拐角处的形状，在一次成形完后采用角部精整旋轮成形工件的小圆角。角部精整旋轮的圆角半径 $R$ 应遵循工件拐角的圆角半径。为此，角部精整前所旋制的工件圆角半径应比 $R$ 大3~4mm。如果两者差得太大则在精整旋轮压紧时拐角处会破裂。

表4-1 旋轮圆角半径的选用实例

材 料	工件直径	
	$150 > d$ ①	$300 > d > 150$
铝材 黄铜板	6~8	12~15
普通冷轧钢板(SPC) 冷轧不锈钢板(SUS)	6~8	10

①  $d$  为工件最大直径，工件高度约100~200mm，旋轮直径  $D$  为140mm。

表 4-1 中的数据是根据经验选用的，考虑了板坯厚度  $t_0$ 。增大时  $t_0$  与  $R$  的关系 ( $t_0/R$ )。如果  $t_0/R$  增大，则前述的环节将变得过大，将它推向工件外缘所受的阻力增大而容易使工件破裂。这种情况使人有旋轮的圆角部分咬入板中的感觉。第五章举的许多实例中研讨了如图 4-9 那样有两个圆弧工作面的旋轮。大的圆弧工作面用于压倒毛坯，使其容易变形。此外还应注意板坯厚度  $t_0$  大时不容易起皱这一点。

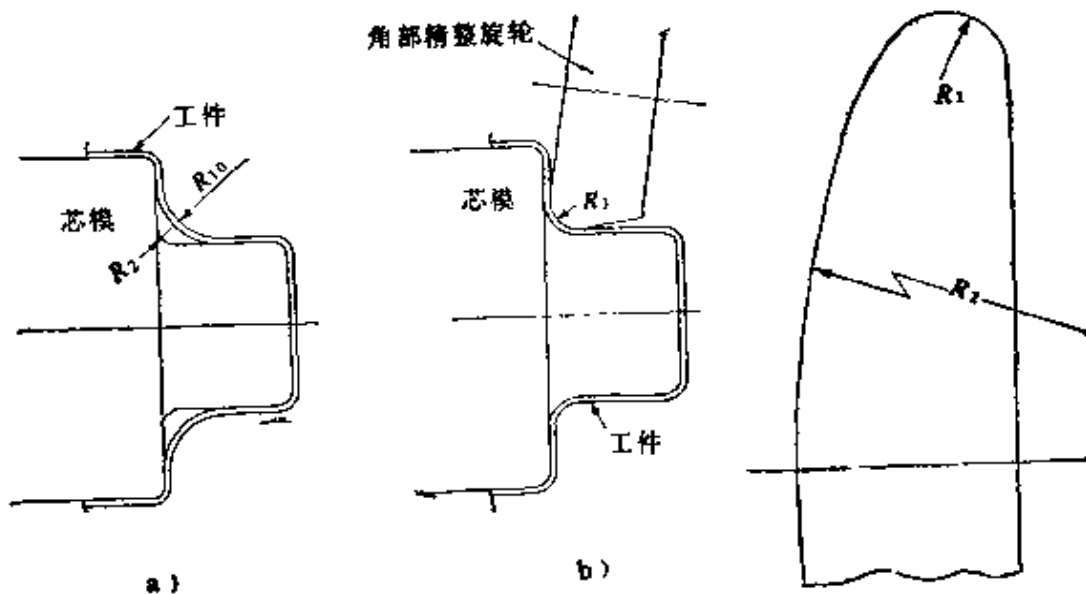


图4-8 角部精整旋轮的应用

图4-9 拉深旋压用旋轮的一例

a) 拉深旋压完了 b) 角部精整作业

### (3) 旋轮道次的安排

多道次拉深旋压中最重要的问题是旋轮道次采用何种方式进

行。这就是确定固定模板的形状、模板的移动间距和旋轮的进给速度等三个因素。工件能否成形与前面所述毛坯的尺寸和材料以及旋轮的圆角半径有关联，但与这三个因素更为密切相关，所以需将这三个因素先行确定。

#### (a) 固定模板的形状和位置的选择

固定模板起决定旋压件最终形状的作用。它的形状和位置取决于芯模和旋轮的间隙。通常使拖板与芯模轴线倾斜 $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，令旋轮与仿形器随动并沿芯模前端平移到后端，由此来确定模板的形状和位置（参见图 4-5）。此时还必须考虑旋轮和芯模之间的间隙。如果工件的形状复杂就有必要使间隙为变化值。间隙设定后还需要通过试验来修正固定模板的形状。考虑到成形力的作用，沿芯模轴向面的间隙应留得较小，而沿径向面的间隙应留得较大。对钢材来说这种间隙应留得较小，而对铝材来说应留得较大。间隙过大时会降低工件的精度，还可能使工件起皱或破裂；如果过小则工件会延伸过度致使壁厚变薄。试旋时如果工件的内表面光滑，则说明它与芯模贴合得很好；如果有些部分不光滑，则需要对固定模板的相应部分进行修正。

#### (b) 活动模板的形状和位置的确定

对活动模板的形状进行了种种研究。最普通的方式如图 4-10 所示，它是使具有一定型面的模板绕 P 点旋转来确定旋轮在

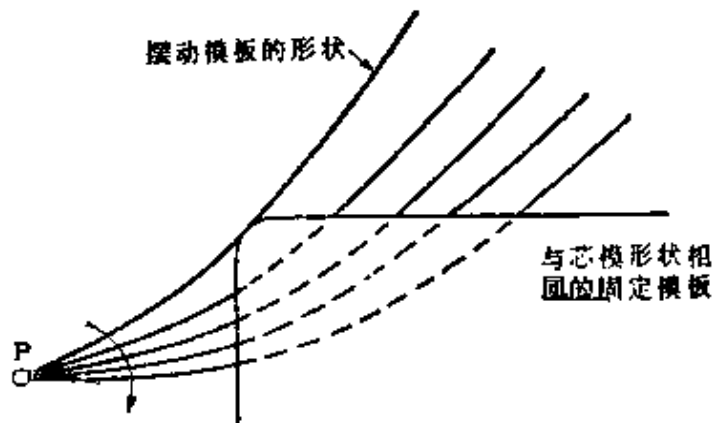


图 4-10 模板

逐次旋压中的运动轨迹。建议的模板形状有直线形、圆弧形和渐开线形等多种，但是没有能掌握确定其形状的决定因素。这是因为有过多的加工条件汇集于成形过程中，还没有能够从技术理论上加以论证。



直线形模板是不理想的。圆弧形模板则不应是单一半径的而应是双圆弧形的。图4-11示出了旋制聚光器用的固定模板和绕P点转动的活动模板的形状。此例的毛坯为铝板，旋轮进给速度 $V$ 为 $0.9\text{mm/r}$ ，旋轮圆角半径 $R$ 为 $10\text{mm}$ 。成形之前先将外缘折弯，以防止起皱。活动模板接近旋转中心P一端的AB部分以及BC部分的圆弧半径分别为 $360\text{mm}$ 和 $420\text{mm}$ 。一般认为，如果采用 $360\text{mm}$ 半径的单一圆弧会使凸缘过于弯卷，因而把靠近外周部分的圆弧半径修大，但并未能明确其中的道理。由于没有普遍规律可循，各操作者只能凭经验来确定模板的形状。

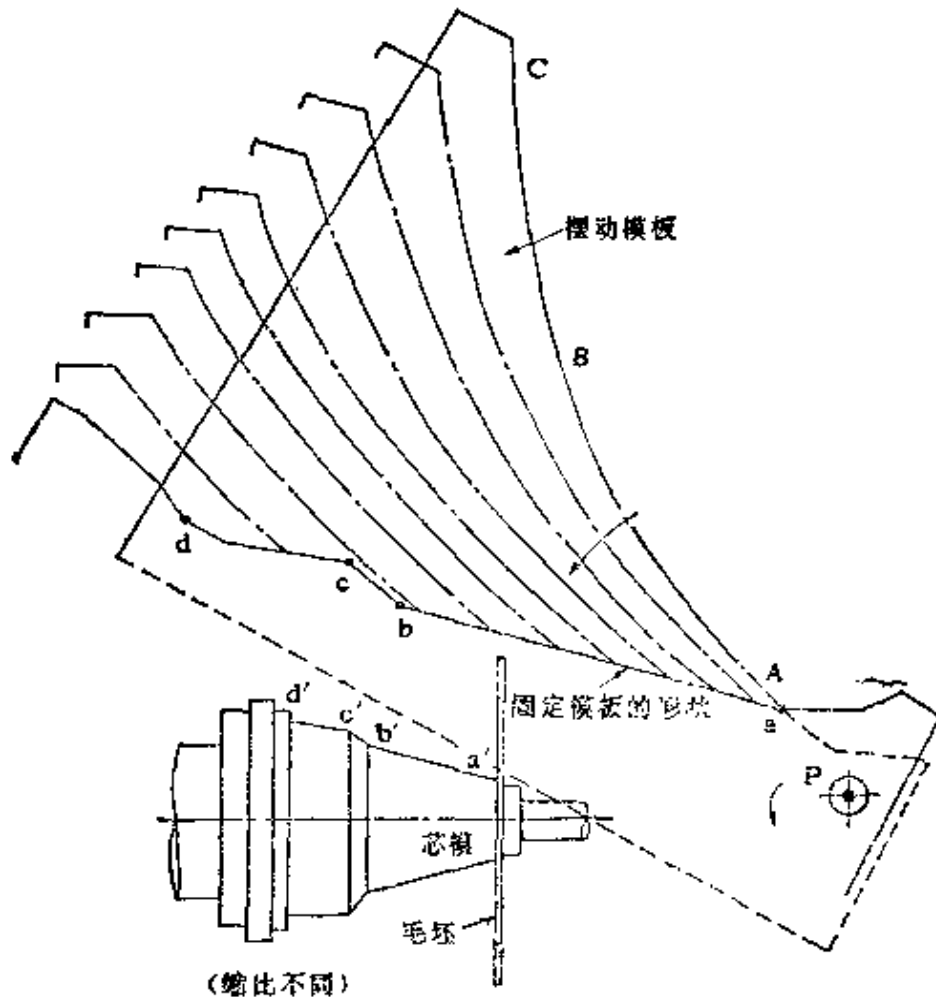


图4-11 固定模板和活动模板的示例

下面举一个用渐开线形模板对圆筒件进行拉深旋压的例子，以供确定模板形状时参考。模板的形状按下述方法计算。先看图

4-12, 设活动模板的旋转中心  $P$  与芯模端面和侧面的距离分别为  $x_m$  和  $y_m$ 。工件的高度  $h$  为已知。如果  $y_m$  值取得不太大就可按下式近似地确定渐开线的基圆半径  $a$ 。

$$a = \eta (h + x_m - t_0) \quad (1)$$

式中  $\eta$  宜取 1.7~2.2 左右。如果  $a$  值过小, 则旋轮道次中途的轨迹过分倾侧, 工件壁部容易减薄。反之, 如果  $a$  值过大就不容易压倒毛坯。因此一般可在上述范围内选得略微大一点比较稳妥。

得到了  $a$  值再按下面的公式计算就可画出模板的形状, 就象画圆弧模板形状一样的容易。先取半径  $r$  为  $0 \sim a$  之间的适当间隔求  $\phi$ , 再由  $\phi$  求  $x$ 、 $y$ 。

$$\left. \begin{aligned} \phi &= 0.97 (r/a)^{0.5138} \\ x &= r \cos \phi, \quad y = r \sin \phi \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

表 4-2 列出了  $x/a$ 、 $y/a$  和  $r/a$  的值。用前述的  $a$  值乘以这些值就能即刻得出模板的形状。

下面再来确定模板回转中心的位置  $x_m$  和  $y_m$ 。 $x_m$  为回转中心  $P$  与芯模端面的距离,  $y_m$  为  $P$  与芯模侧面的距离。确定这两个值时必须考虑以下各点。

(1) 开始拉深的初期道次的仰角  $\theta_0$  即模板与芯模相切的夹角应该选得适当。

(2) 其后的道次 (称后期道次) 是靠着芯模的侧面, 故应适当选择模板的倾斜程度, 即模板的进给间距  $p$ 。

(3) 应该适当选择后期道次中毛坯的仰角  $\theta_0$ 。

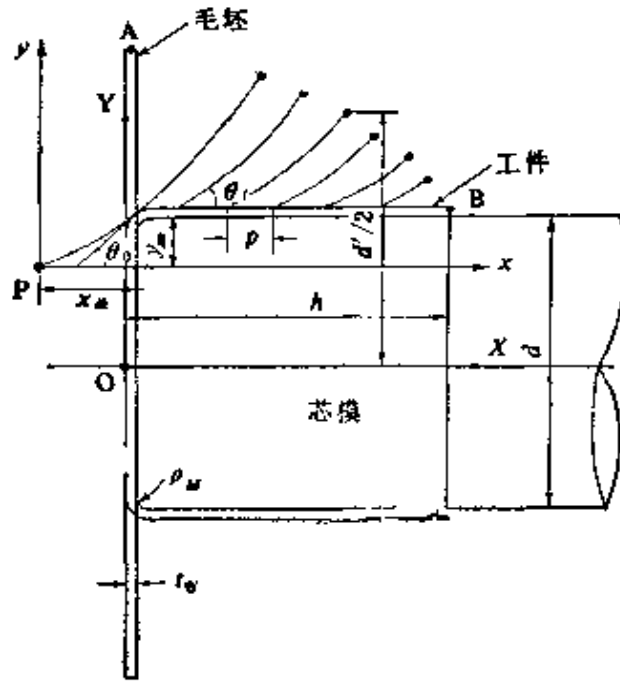


图 4-12 模板确定方法示例

表4-2 渐开线

$r/a$	$x/a$	$y/a$
.05	.0489	.0103
.1	.0956	.0292
.15	.1400	.0536
.2	.1822	.0823
.25	.2222	.1145
.3	.2599	.1497
.35	.2954	.1875
.4	.3288	.2277
.45	.3599	.2700
.5	.3889	.3141
.55	.4158	.3599
.6	.4406	.4072
.65	.4632	.4559
.7	.4838	.5058
.75	.5024	.5568
.8	.5189	.6088
.85	.5334	.6617
.9	.5460	.7154
.95	.5566	.7698
1	.5653	.8248

(4) 通过整个道次适当选择旋轮的进给速度 $V$ 。

如果不注意以上四点工件就会起皱或开裂而不能成形。下面我们通过软铝材(O料)的试验提出 $\theta_0$ 、 $p$ 、 $\theta_1$ 以及 $V$ 的适宜值。

图4-13说明,要防止工件起皱,初期道次的仰角 $\theta_0$ 值就必须取在虚线以上的范围。 $\theta_0$ 与旋轮沿拖板的进给速度 $V$ 有关系,如果加大 $V$ 则 $\theta_0$ 也随之有所增大。如能采取前面提到过的防皱措施,则这条虚线也可以取消。图中的实线是后期道次的间距 $p$ 为5mm时,为防止工件壁部开裂所能取的初期道次的仰角 $\theta_0$ 的上限。采用更大的 $\theta_0$ 时必须把后期道次的间距 $p$ 定在5mm以下,否则工件就会破裂。

图4-14给出的是把间距  $P$  改为 4、5 和 6 mm 时可采用的  $\theta_0$  的上限。 $P$  为 6 mm 时,  $\theta_0$  的上限线与起皱的临界线(虚线)重叠, 如不采取防皱措施就不能成形。如果加大旋轮圆角半径  $R$  则  $\theta_0$  就能取得很大。这说明旋轮圆角半径大了壁部就较难破裂。

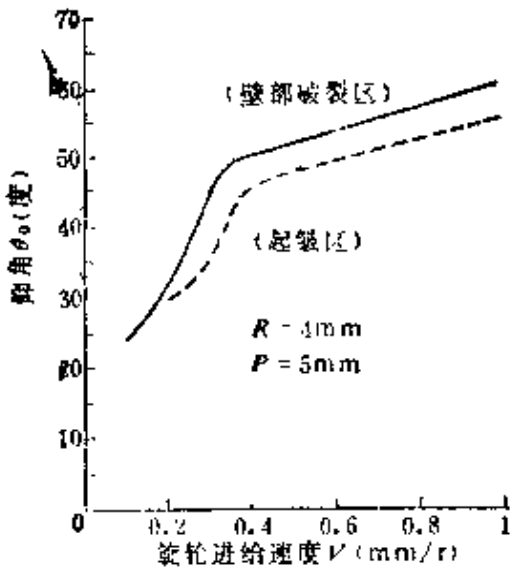


图4-13 仰角  $\theta_0$  值(1)

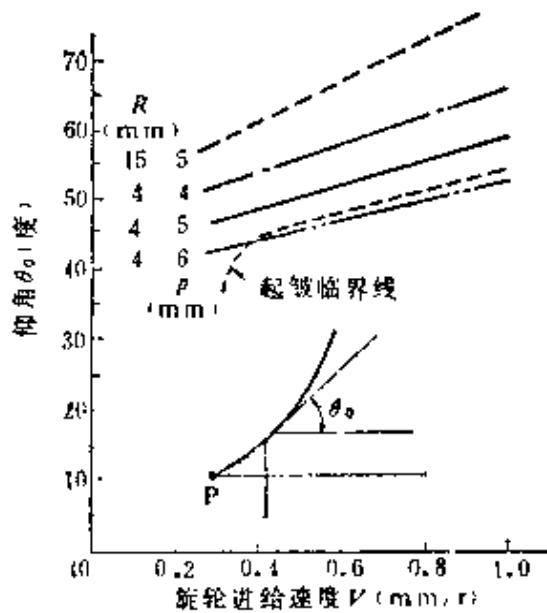


图4-14 仰角  $\theta_0$  值(2)

旋轮的进给速度  $V$  取得太小生产率就会降低。所以  $\theta_0$  应大致取为  $50^\circ$  至  $60^\circ$ , 如果再小就容易起皱, 如果再大壁部就容易开裂, 而间距  $P$  则必取得小。

通过这样的试验还认为, 在芯模侧面的后期道次的仰角  $\theta_0$  从成形中途到完了都取  $30^\circ$  左右, 这可使过程变化小并良好地运行。

$\theta_0$  的大小建议与  $P$ 、 $V$  和  $\theta_0$  联系起来考虑, 而为得到这样的  $\theta_0$  值回转中心  $P$  的位置  $x_m$  和  $y_m$  的值必须通过下式的计算来确定。

$$x_0 = \bar{x}_m + \bar{\rho}_M (1 - \sin \theta_0) \quad (3)$$

$$y_0 = \bar{y}_m - \bar{\rho}_M (1 - \cos \theta_0) \quad (4)$$

$$\theta'_0 = 0.485 [ (x_0/a)^2 + (y_0/a)^2 ]^{0.2500} + \text{tg}^{-1}(y_0/x_0) \quad (5)$$

上述式中:

$$\bar{\rho}_M = \rho_M + t_0, \quad \bar{x}_m = x_m - t_0, \quad \bar{y}_m = y_m + t_0 \quad (6)$$

而且 $\theta_0$ 是以弧度计算的,若用度表示则可采用下式。

$$\theta_0(\text{度}) = \theta_0(\text{rad}) \times 57.2958 \quad (7)$$

总之, $x_m$ 和 $y_m$ 就是这样与芯模圆角半径 $\rho_m$ 、板材厚度 $t_0$ 以及渐开线的基圆半径 $a$ 联系起来而确定的。

上述公式要按如下的方式运用。把后期道次的仰角 $\theta_0$ 取为 $30^\circ$ 左右时最好取 $\bar{y}_m/a \approx 0.085$ 。当自己取的 $\theta_0$ 确定后就可由式(4)求得 $y_0$ ,然后大致设定 $x_m$ 并由式(3)求得 $x_0$ ,用 $x_0$ 和 $y_0$ 并由式(5)和(6)计算 $\theta'_0$ 。若 $\theta'_0 > \theta_0$ 就稍加大 $x_m$ 再计算,直到求出 $\theta_0 = \theta'_0$ 时的 $x_m$ 为止。

图4-15所示是通过上面的计算与不同 $\bar{\rho}_m/a$ 相对应的 $x_m$ 值。

$\rho_m$ 和 $a$ 是已选定的,因此按图选择回转中心P的位置,就能够得到所需的 $\theta_0$ 。例如 $a = 200\text{mm}$ 、 $\bar{\rho}_m = 12\text{mm}$ 时,对于选择 $\theta_0 = 52.5^\circ$ 来说, $\bar{x}_m/a = 0.051$ 、 $\bar{y}_m/a = 0.085$ 就可以了。

(c) 旋轮进给速度的选择

旋轮沿拖板移动的进给速度是多道次拉深旋压

中最重要的参数。对于一定的工件形状和毛坯材料可以根据毛坯每转的移动量判断成形情况。

旋轮的进给速度大则工件容易起皱,进给速度小则毛坯受拉伸而使工件壁厚减薄。就圆筒件而言,旋轮进给速度小就能使工件变长。在不起皱的前提下应尽量选用大的旋轮进给速度。

在初期道次也就是第一道次容易起皱,这时的旋轮进给速度以小为宜。进给速度小也对获得良好的成形表面有利。由于旋轮的进给速度小了会使生产率降低,因此应在允许的范围内加大毛坯的转速,使毛坯每转的进给速度不增大。为了提高生产率,在

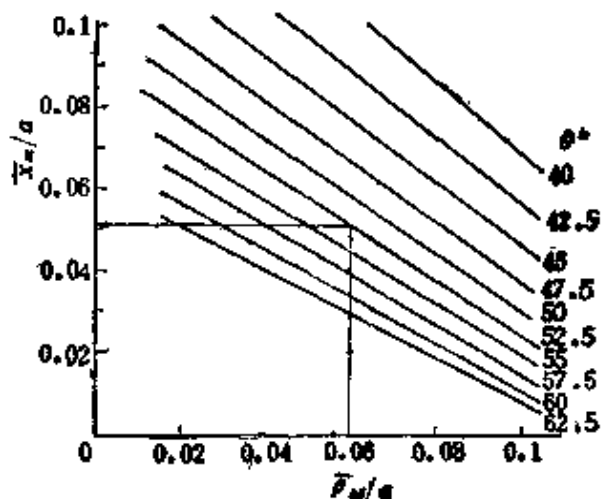


图4-15 由 $\theta_0$ 和 $\rho_m$ 确定 $x_m$ 的计算  
图( $\bar{y}_m/a = 0.085$ )

成形完了后旋轮返回原点或旋轮在单向拉深旋压的回程中要采用旋轮快速移动装置。

#### (4) 拉深旋压中的过渡外缘的确定

在多道次拉深旋压中，旋轮在每一道次都要从拉深终点回到拉深起点。为此需要明确拉深终点的位置，以便通过终点开关给旋轮下达相应的指令。下面对确定圆筒件在拉深旋压过程中的外缘尺寸加以说明。由图4-12可见，外缘形状大体能用椭圆方程表示。在 $X$ 轴上任意点的半成品直径 $d'$ 为：

$$d' = D_0 \{ 1 - [ 1 - (d/D_0)^2 ] X^2 / h^2 \}^{1/2} \quad (8)$$

例如已知  $D_0 = 360\text{mm}$ 、 $d = 180\text{mm}$  以及  $h = 250\text{mm}$  时，若  $X = 50\text{mm}$  则求得  $d'$  为：

$$d' = 360 \times \{ 1 - [ 1 - (180/360)^2 ] \times 50^2 / 250^2 \}^{1/2} = 355\text{mm}$$

同样，若  $X = 100\text{mm}$  则  $d' = 338\text{mm}$ ，若  $X = 200\text{mm}$  则  $d' = 226\text{mm}$ 。

如图所示能够得到一条从A点到B点的曲线，在每个道次中当旋轮到达这条曲线上时就脱离外缘。

## 4.2 剪切旋压成形技术

不改变毛坯的外径而改变其厚度，以制造圆锥形等各种轴对称薄壁件的旋压称为剪切旋压（锥形变薄旋压）。这种成形方法的特点是在旋轮的一个道次中完成成形，加工时间短，表面光洁和成形精度高，并且能较容易地成形拉深旋压难于成形的材料。此外，机床的操作和调整比拉深旋压容易得多。只要理解了本节所述基本成形条件的选定法则，那么掌握其成形技术是不困难的。

充分利用上述特点对旋压产品尽量采用剪切旋压成形是可取的。在产品设计中只要可能也应尽量改变工艺结构以便采取这种容易生产的方式。当因使厚度大量减薄而带来不利的一面时，可以考虑将剪切旋压与拉深旋压复合起来进行。

### 4.2.1 毛坯设计

毛坯的形式主要为圆板或方板，但也采用冲压、机械加工及旋压的预制件或锻造、铸造及焊接的预制件。

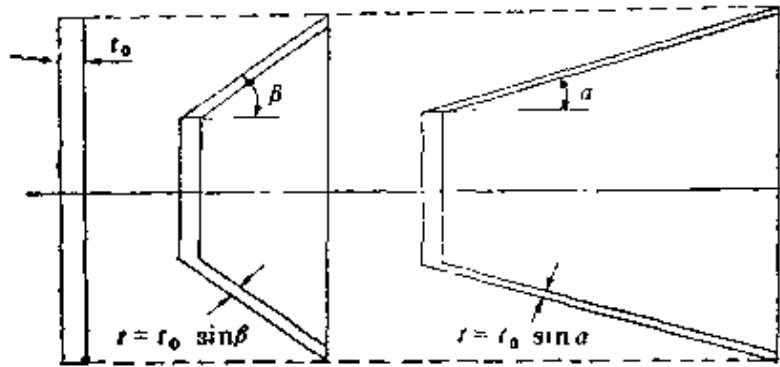


图4-16 剪切旋压的正弦率

用圆板坯旋制锥体的情况如图 4-16 所示。当半锥角为  $\alpha$  时因毛坯外周不变化，工件壁厚遵循正弦律为：

$$t = t_0 \sin \alpha \quad (9)$$

通常， $\alpha > 15^\circ$  的锥体能在一道次中旋制。如因设备功率小而不能确保精度时可以设中间道次，先旋制半锥角为  $\beta$  的半成品，然后在第二道次旋制半锥角为  $\alpha$  的成品。当要求两道次的减薄率相同时可按下式令：

$$\sin \beta = \sqrt{\sin \alpha} \quad (10)$$

例如若  $\alpha = 15^\circ$ ，则  $\beta$  为  $30.6^\circ$ 。

若要旋制  $\alpha = 10^\circ$  而壁不能太薄的锥体，就如图 4-17 所示，先在第一道工序进行拉深旋压，旋出半锥角为  $\beta$  的锥体，然后在第二道工序进行剪切旋压得到半锥角为  $\alpha$  的成品。考虑到半锥角为  $\beta$  的锥体的壁厚等于板坯厚度  $t_0$ ，故  $t_0 = t_0 \sin \alpha / \sin \beta$ 。这样，若  $\beta$  为  $30^\circ$  则  $t_0 = t_0 \times 0.1736 / 0.5$ ，也就是说能保证壁厚为单纯剪切旋压的二倍。

椭圆体和抛物线形体的剪切旋压如图 4-18 所示，它们的壁厚由芯模的切线与其轴线的夹角  $\alpha$  的正弦值确定，所以工件各部分的壁厚不等，口部的  $\alpha$  小故壁薄。欲得到均匀的壁厚，可以如图 b 那样预先使毛坯的厚度沿其径向变化，或者如图 a 那样预先

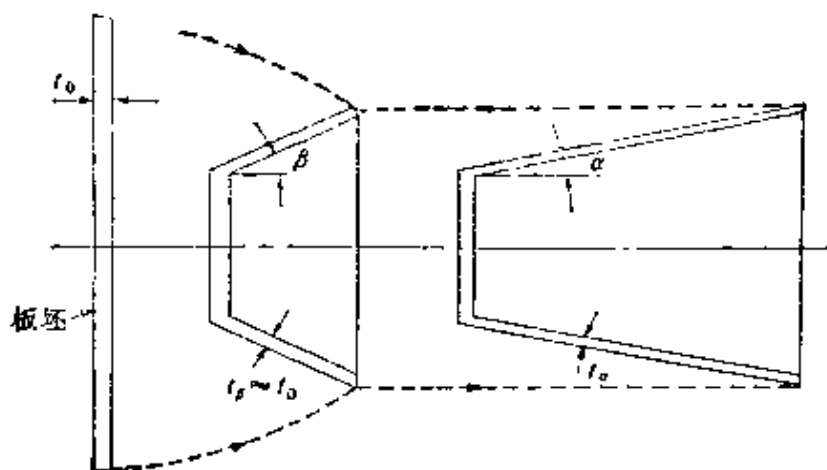


图4-17 拉深旋压与剪切旋压

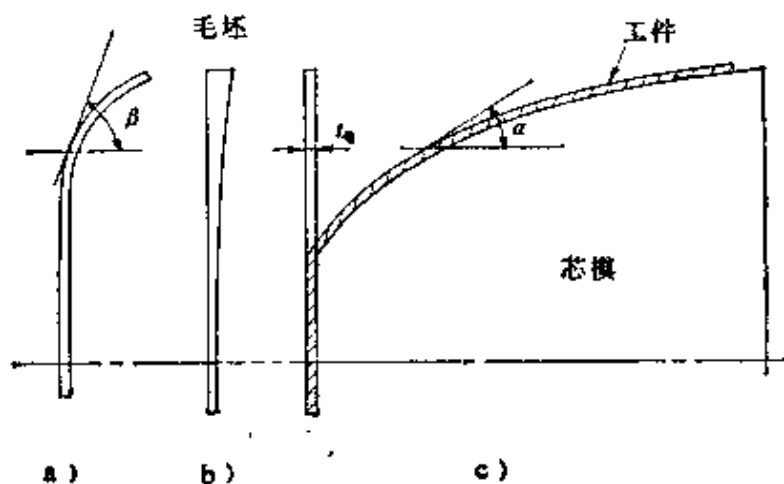


图4-18 椭圆体的剪切旋压

改变毛坯的形状、按图 4-17 的原理给毛坯一个逐渐变化的倾角  $\beta$ ，使之经一道次剪切旋压后达到均匀的壁厚。以现在的技术制备变厚度毛坯很容易，而图 a 的预成形件则可由冲压或拉深旋压制备。

这种以预制品为毛坯的方法已用于各种机械零件的制造，要求制件的精度高时需要改善毛坯的尺寸精度。例如旋制图 4-19

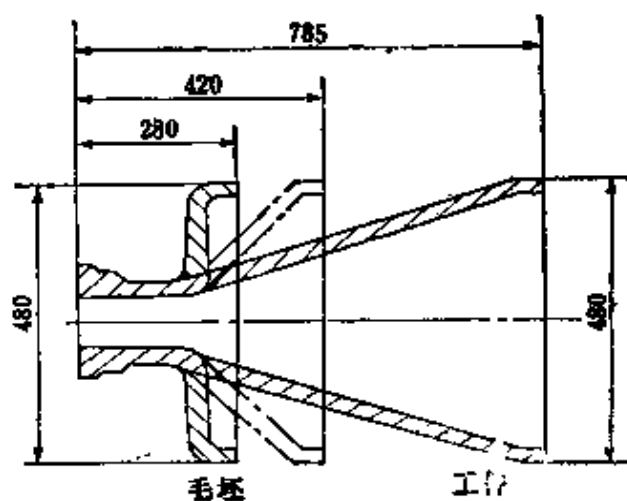


图4-19 锻造毛坯的剪切旋压示例



所示的涡轮轴时，其毛坯是经机械加工的耐热钢锻件。为了减少工具的调整量应尽量保持毛坯内外表面的同心度，使其容差不大于 $0.05\text{mm}$ ，毛坯厚度的容差则为 $\pm 0.07\text{mm}$ 。不过这样的重型旋压在日本应用得较少，最近才逐渐重视起来。

一般来说，对所用毛坯的材料并无严格的要求，比对拉深旋压毛坯的要求要松得多。但是在采用焊接毛坯时最好把焊缝整平，避免用有内部缺陷的材料。对应力集中很敏感的材料不允许有伤痕、裂纹或厚薄不均。通常认为，可旋性与材料拉伸试验的断面收缩率 $\varphi_0$ 有关。

铝或铜及其合金、大多数碳钢及合金钢都能进行剪切旋压。碳钢的成形范围随含碳量的增加而变小。各种奥氏体不锈钢的可旋性都很好。在第五章中还能看到为数不多的耐热镍合金的旋压实例。

#### 4.2.2 工艺条件的选择

剪切旋压是一道次的简单操作，不象拉深旋压那样需要讨论道次问题，因而工艺条件的选定比较容易。然而这是变薄旋压，其成形力比拉深旋压大得多，这就需要考虑成形力如何受工艺条件的影响。成形力的大小还与机床的刚性、要求制件的尺寸精度以及表面加工质量有关。对上述关系给予充分重视的前提下，下面叙述剪切旋压中选定工艺条件的几个要领。

##### (1) 芯模的形状和材料

芯模的形状要与旋压件的形状一致。但是如图4-18所示，当夹角 $\alpha$ 逐渐变小时工件的壁厚则逐渐变薄，单用剪切旋压便不能成形。对于圆锥角为 $2\alpha$ 的典型锥形芯模，应该注意到其圆角半径 $\rho_w$ 太小是造成工件破裂的原因。

芯模的材料可以使用经过切削后再经热处理的铸铁。中小型芯模往往采用工具钢，使用前需进行热处理使硬度达到HRC 60~63，再经磨削和消除内应力。应控制件的生产件数选择最经济的芯模。旋压时芯模承受偏心的集中载荷。当采用长的和较细的芯模时宜选用备有两个对置旋轮并能同时工作的旋压机，以保

持力的平衡。

有时候为提高芯模的耐磨性并减少其表面损伤，先进行表面硬化处理后才使用。由于芯模的表面状况直接反映在工件表面上，因而对芯模表面的精加工要尽量严格，对于内外表面都要求很光洁的旋压件来说尤应如此。热旋压时可采用高速钢芯模。

采用锥形芯模时壁厚减薄率  $R$  等于  $1 - \sin\alpha$ 。如果  $\alpha$  小则  $R$  就增大，剪切旋压力就要增大。然而旋压力是施于旋轮圆角部分的，往往把它分为三个分力而加以分析。这三个分力是施于旋轮径向的压紧力  $P_r$ 、施于旋轮轴向的进给力  $P_z$  和施于旋轮周向的周向力  $P_\theta$ 。三个分力与  $2\alpha$  的对应关系如图4-20所示。由图可知，如果  $2\alpha$  减小则  $P_r$  和  $P_z$  都随之增大，周向力  $P_\theta$  小而对旋转功率影响不大（本图以及后面的各旋压力图中的  $\sigma_m$  是材料的平均变形抗力， $\text{kgf/mm}^2 \ominus$ ）。

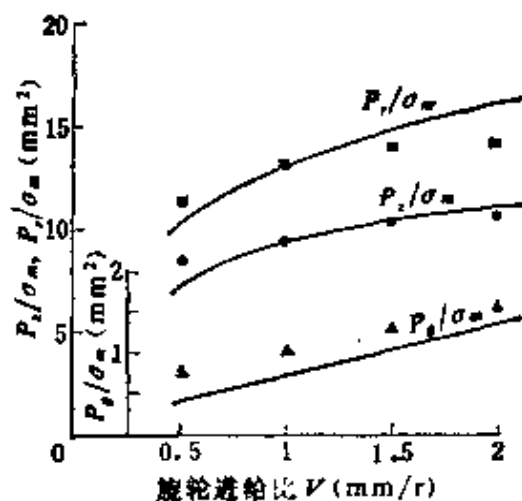


图4-20 芯模圆锥角(壁厚减薄率)与旋压力的关系

## (2) 旋轮的形状、尺寸和材料

对剪切旋压的旋轮建议大体上采用如图4-21所示的形状。其中图a是标准旋轮，可与拉深旋压通用。图b是圆角半径  $R$  部分偏于一边的旋轮，多用于旋压力大的重型旋压。旋轮的退出角  $\beta$  视芯模的形状（例如芯模的圆锥角）及旋轮的安装角等而定，主要是不得与芯模表面相干涉。图c所示的旋轮用于图4-22所示的情况，即由它推压着凸缘进行旋压。旋轮的  $\beta_1$  和  $\beta_2$  二角的大小也要根据芯模的圆锥角及旋轮的安装角在大范围内适当选取。

$\ominus$   $1\text{kgf/mm}^2 = 9.8\text{MPa}$ ，下同。——译者注

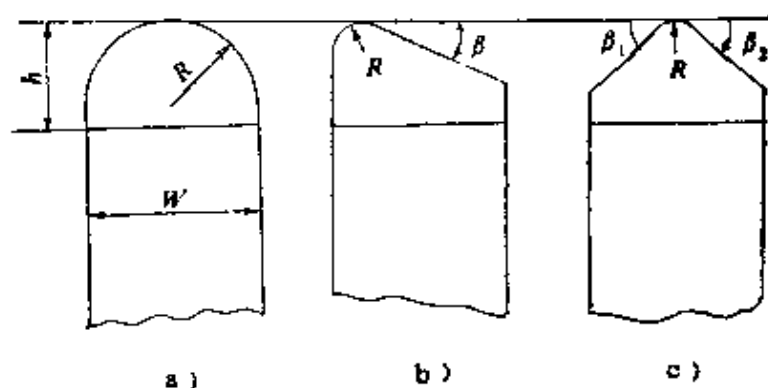


图4-21 剪切旋压用旋轮的形状

$D$ : 300~500mm左右,  $h$ : 50~175mm左右,  $W$ : 50~75mm左右(给出的尺寸用于重型旋压)

对旋轮的直径  $D$  和圆角半径  $R$  没有多大的限制, 可按承受接触压力的要求、根据机械的形状和大小以及芯模的形状选取各种数值。对圆角半径不必象在拉深旋压时那样重视, 对旋轮直径更是如此。通过这些选择, 对于旋压力会有怎样的变化有必要加以考虑。

从日本旋压界实际使用的旋轮直径  $D$  与旋压件直径  $d$  的关系来看, 旋制直径 50~1000 mm 的旋压件时采用的旋轮直径  $D$  大致为 40~300mm。旋轮直径  $D$  不仅与旋压件直径有关, 还与坯料材料及其厚度  $t_0$  有关, 并不是简单地随着  $d$  的增大而增大。图 4-21 中标注的是剪切旋压用重型旋轮的尺寸。这种重型旋轮有时因轴承的负载能力所需而必须增大直径, 在条件允许时也可以考虑采用双列轴承而使直径减小。推荐采用的直径大致为 150~300mm。

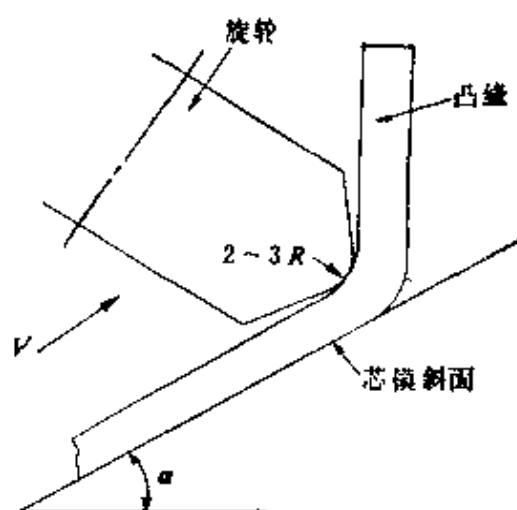


图4-22 剪切旋压旋轮的工作情况

旋轮直径对旋压力的影响如图 4-23 所示。必须注意, 旋轮

直径一增大就使毛坯与旋轮的周向接触长度增大，压紧力  $P_r$  和进给力  $P_z$  就随之增大。在回转成形中成形力的增加与  $\sqrt{D}$  成正比，可由此来大致估计成形力。有趣的是图中的周向力  $P_\theta$  随着旋轮直径的增大而减小，这表明虽然接触长度增加了但是周向的变形状况仍然得到了缓和。

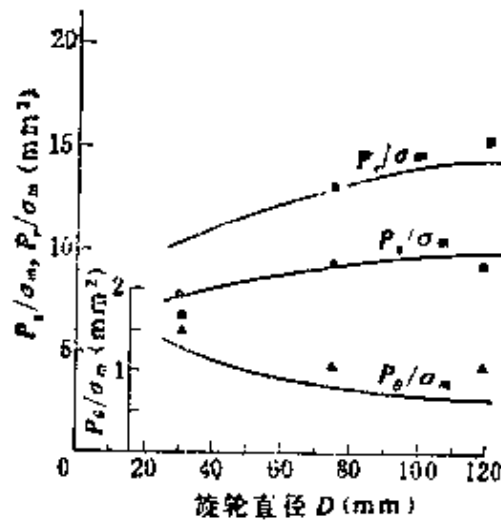


图4-23 旋轮直径与旋压力的关系

旋轮的圆角半径  $R$  不像拉深旋压那样重要，建议取得与板坯厚度相等或稍大，旋压轻金属时则可取得稍小一点。但如果旋轮圆角半径太小就不能

加大旋轮进给速度，旋轮的圆角部分也会咬入毛坯。此时，毛坯的凸缘往往不能直立而逆着旋轮的进给方向向后倾倒。相反，如果旋轮的圆角半径过大凸缘就顺着旋轮的进给方向向前倾倒。最理想的是使凸缘在成形中保持直立状态。

另外，从工件表面的成形质量来看，在工件表面残留有由旋轮的移动造成的旋压痕迹，其宏观上的表面粗糙度可由旋压痕迹的高度  $R_s$  表达。

$$R_s = R - \sqrt{R^2 - (V/2)^2} \quad (11)$$

$R_s$  是由旋轮的圆角半径  $R$  和其进给比  $V$  (mm/r) 共同决定的。如果  $R$  小则旋轮的进给比就受到限制而不可能太大。取定某一进给比时， $R$  越大则  $R_s$  越小即能获得低的表面粗糙度。通常  $R$  多在 2~20mm 的范围内选择。

从图 4-24 所示的例子可见，加大旋轮圆角半径  $R$  时压紧力  $P_r$  随之显著增大。这是因为在芯模与旋轮顶端圆角之间的毛坯面积随着旋轮圆角半径的增大而增大。但是旋轮圆角半径对进给力  $P_z$  和周向力  $P_\theta$  的影响小，所以它们几乎没有变化。

旋轮的材料最好选用具有耐磨性而成本不太高的。通常使用

的有 SK2、SK3、SKD11 和 SUJ2 等，也有使用硬质合金的。热旋压时使用 SKD61 等材料。

### (3) 旋轮进给比的选择

剪切旋压时，旋轮相对毛坯每转的移动量即旋轮的进给比  $V$  (mm/r) 是最重要的工艺因素。如图 4-25 所示，它对压紧力  $P_r$  的影响尤为明显。对变形抗力大的材料进行剪切旋压时必须减小进给比  $V$ 。减小  $V$  能使旋压力显著减小，当机械刚性不足时可以利用这一点。

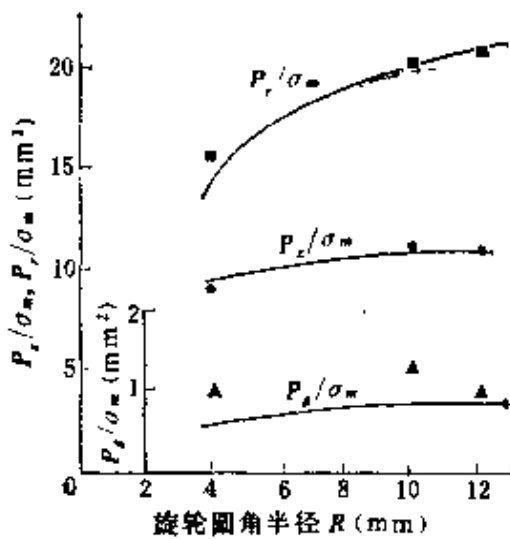


图4-24 旋轮圆角半径与旋压力的关系

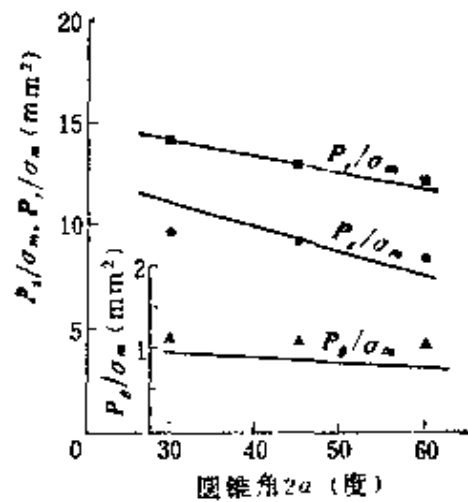


图4-25 旋轮进给比与旋压力的关系

当旋轮进给比过大时毛坯的外缘不能进入拉深，凸缘就会起皱，有时壁部还会起皱。由式 (11) 还可知，进给比越大表面粗糙度就越高。但是进给比大时工件贴模紧，对提高工件的精度有利。

综上所述，旋轮进给比的大小对旋压力、成形过程和工件的质量都有直接的影响，应该充分考虑这些情况再作选择。一般来说，常用的大致范围是  $0.1 \sim 2 \text{ mm/r}$ ，为使表面美观可取  $0.05 \sim 0.15 \text{ mm/r}$ ，为使表面平滑则可取  $0.7 \sim 1.4 \text{ mm/r}$ 。

机床的进给装置多数采用液压机构，如果油温变化则旋轮进给比也会相应地变化，随之有可能出现成形问题，因此要使油温

保持不变。

#### (4) 毛坯转速的选择

设毛坯的转速为  $N$ 、毛坯的平均接触直径为  $D_m$ ，则毛坯的圆周速度可用  $\pi D_m N$  表示。有人认为圆周速度最好使用  $300 \sim 600 \text{ m/min}$ ，速度低了则不太好，但其理由不明。毛坯转速的确定要综合机床功率、生产率和生产的安全性等因素。在旋压中希望保持凸缘旋转的稳定且不希望有大的振动。要从机床的特性考虑选择能够限制振动的合适的转速。

图 4-26 是整理出来的日本实际使用的毛坯转速  $N$  相对毛坯直径  $D_0$  的关系图。由此可知，转速几乎没有因材料的不同而改变。图中画出了  $ND_0$  等于定值的曲线，从各家的经验来看选用的转速都靠近这条曲线，多在  $300 \sim 1000 \text{ r/min}$  的范围内而以  $500 \text{ r/min}$  为最多。按  $ND_0$  乘  $\pi$  等于圆周速度来算则多数情况是选在  $500 \sim 1130 \text{ m/min}$  的范围内，采用最高的圆周速度容易产生问题。但要提高生产率就必须加大转速，再则在高速下还能提高润滑效果。

转速对旋压力的影响可以与旋轮进给速度综合起来考虑。设旋轮沿拖板的进给速度  $V$  ( $\text{mm/min}$ ) 不变，若加大毛坯的转速则旋压力减小，当转速达到一定程度后旋压力减小的趋势趋于平缓。

#### (5) 旋轮与芯模的间隙的选择

剪切旋压时芯模与旋轮之间应有严格遵循正弦律的间隙  $c_s$ ，这样毛坯外周就几乎没有变化而能顺利地进行旋压。如果间隙是  $c_s + \Delta c$  或  $c_s - \Delta c$  则成形就会不稳定。如果  $c < c_s$ ，即过度减薄时压紧力  $P_r$  就显著增大。这是因为多余的材料被从旋轮下方挤出来的缘故。这时凸缘向前倾，进给力  $P_r$  会减小一些。一部分多余的材料也会流到旋轮的背后，已经成形的壁部虽不会拉破，但当圆锥角  $2\alpha$  大时工件的形状就会变得不规则，有时会在尾顶部分鼓出来。

相反，当  $c > c_s$ ，即间隙过大时，虽然旋压力没有多大的变

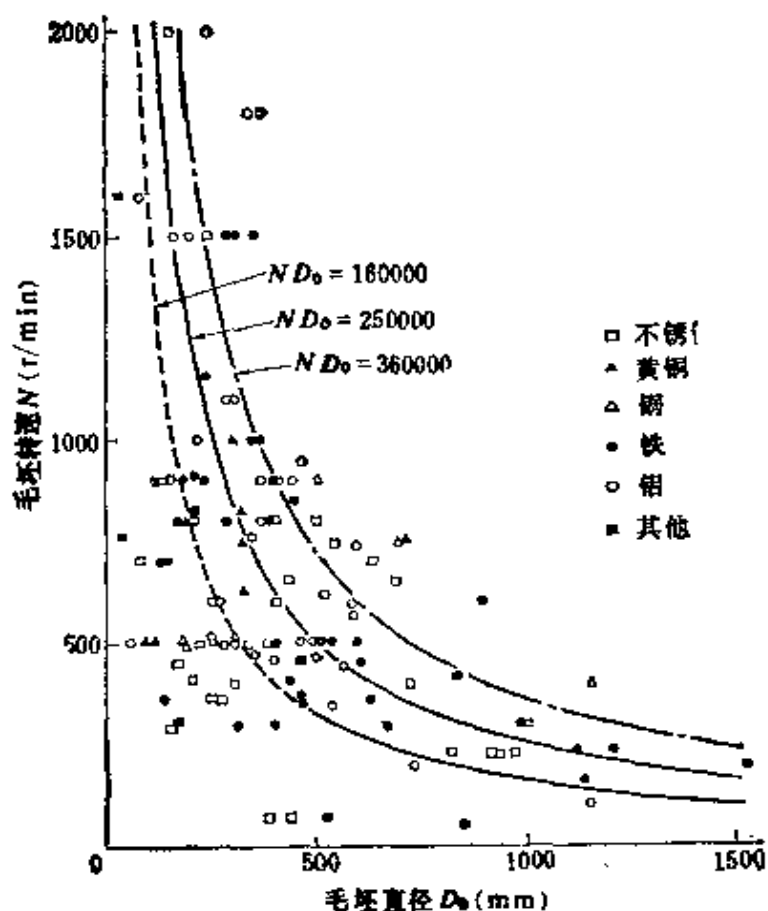


图4-26 毛坯的转速与其直径的关系

化，但是凸缘受拉深而前倾，工件容易起皱，而且会脱模晃动以致使精度变差。

综上所述，如果不遵循正弦律正确选取间隙，就会产生各种副作用，使成形情况变坏。对于直母线圆锥体而言，比较容易设定间隙，而对曲母线的其他薄壁件来说就较为困难，必须采用仿形装置进行适当的调整。

#### (6) 旋轮安装角的选择

拉深旋压时考虑到旋轮与毛坯接触情况的多样性、旋压力变化不大以及旋轮不接触凸缘，将移动旋轮的拖板与芯模轴线的夹角  $\delta'$  取为  $25^\circ \sim 30^\circ$  (参见图 4-27)。剪切旋压时为方便起见，也可以沿用  $25^\circ \sim 30^\circ$  而利用模板进行半锥角为  $\alpha$  的锥体成形。

如图 4-27 a 所示，当取  $\delta' = \alpha$  使旋轮轴线与芯模轴线的夹

角  $\delta$  也等于  $\alpha$ ，则旋轮垂直于芯模面并沿其移动。如图 4-27 b 所示，当取  $\delta = 45^\circ + 2\alpha/3$  时则成形合力的作用区比上一种情况更为集中。以上所述的可以作为选择  $\delta$  时一个大致的参考。

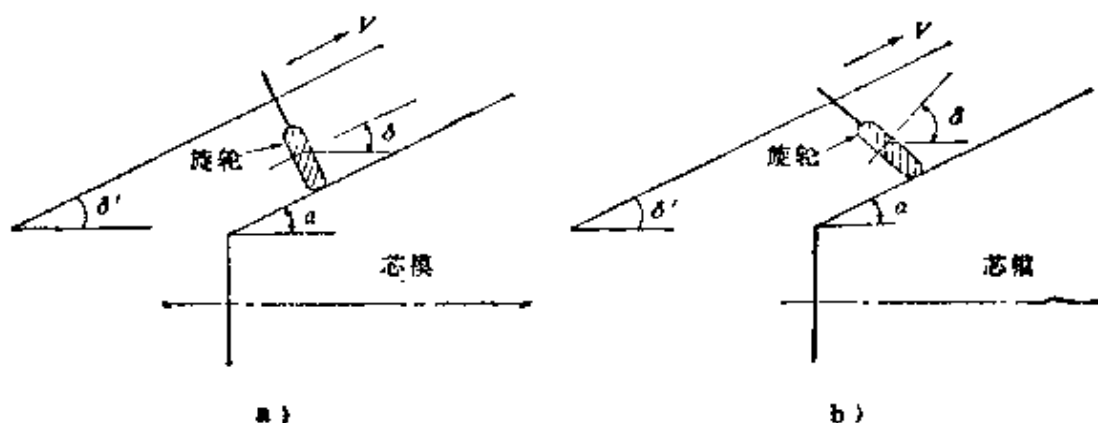


图4-27 旋轮的安装角

a)  $\delta = \delta' = \alpha$     b)  $\delta' = \alpha, \delta > \alpha$

但是  $\delta$  的选取还应考虑旋轮的形状。对于图 4-21 b 所示的带退出角  $\beta$  的旋轮，必须使其后面不与芯模表面干涉，有时候还应注意旋轮的圆角半径。图 4-21 b 所示旋轮的  $\beta$  常取  $30^\circ$  左右，所以  $\delta$  可取  $\alpha + 10^\circ$  左右。按  $\alpha$  的大小来决定每个不同旋轮的  $\beta$  是不经济的。此外，还需考虑支承旋轮的轮柄的尺寸。

当  $\alpha$  角小时，如取  $\delta = \alpha$  则在旋压时轮柄就会与凸缘接触。采用悬臂式轮柄当然是避免这种现象的一个措施，但最好还是取  $\delta > \alpha$ 。不仅是锥体剪切旋压就连各种曲母线形件剪切旋压也可以参考上述情况来选择  $\delta$ 。特别是有些曲母线件在成形中  $\alpha$  不断变化而常与拉深旋压组合进行复合成形，此时不能只按单方面的要求来确定  $\delta$ 。

#### (7) 毛坯尺寸对旋压力的影响

下面分析毛坯的尺寸即板坯的厚度和直径对旋压力的影响。图 4-28 是旋压三分力相对板坯厚度  $t_0$  的变化情况。虽然它们的图线不通过坐标原点，但各分力都随板坯厚度的增加而大致呈直线地增加。在第二章所述的用可成形材料的厚度来表示自动旋压



机的成形能力就是以图 4-28 为依据。将力量不大的主要用于拉深旋压的旋压机用来旋制锻造的预制件是很困难的，但若用承载能力大的旋压机成形各种厚板坯则旋压的应用将进一步扩大。

如果毛坯直径  $D_0$  大，则它对变形部位起到一个大的约束作用而对旋压力也有一定的影响。尤其在成形初期使板材与芯模相贴合有附加的将板材弯曲的作用，因而旋压力不稳定而且变得很大。由于毛坯直径  $D_0$  是按旋压件的尺寸要求而定的，是不能更改的，因此最好是在成形初期采取适当措施如减小旋轮的进给速度。

(8) 毛坯的材料及其可旋性

大多数材料都能进行剪切旋压，但是要说明各种材料的可旋性即临界锥角或最大壁厚减薄率则是很困难的。这需要取得对各种材料的实际经验，为此要付出巨大的劳动。然而对实际加工者而言，了解到大致的成形难易度就可以了。通过对文献的归纳，将剪切旋压和筒形变薄旋压时壁部不产生破裂而能正常成形的最大壁厚减薄率列于表 4-3，以供参考。

日本没有发表过表 4-3 所载的表示各种材料成形难易度的数据，故需就判断材料可旋性的特征值加以说明。在剪切旋压的过程中凸缘渐渐变窄并有可能起皱。在进行典型的剪切旋压时，旋轮沿着芯模的表面以  $V$  mm/r 的进给比将直径  $D_0$ 、厚度  $t_0$  的圆板成形为半锥角为  $\alpha$  的锥体。这时可按下式把  $C$  定义为起皱系数(参见图 4-29)。

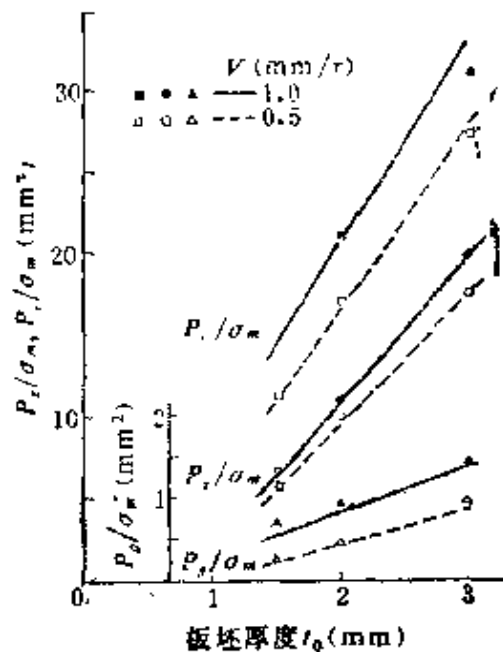


图 4-28 板坯厚度与旋压力的关系

表4-3 不经中间退火的剪切旋压和筒形变薄旋压的最  
大壁厚减薄率(%)

材 料	剪切旋压 (锥体、半球)		筒形变薄旋压
4130	75	50	75
6434	70	50	75
4340	65	50	75
D6AC	70	50	75
René41	40	35	60
A286	70	55	70
Waspalay	40	35	60
18%Ni钢	65	50	75
321不锈钢	75	50	75
17-7PH不锈钢	65	45	65
347不锈钢	75	50	75
410不锈钢	60	50	65
H11工具钢	50	35	60
6-4Ti	55	—	75
B120VCATi	30	—	30
6-6-4Ti	50	—	70
纯钛	45	—	65
钼	60	45	60
铍	35	—	—
铪	45	—	—
2014铝	50	40	70
2024铝	50	—	70
5256铝	50	35	75
5086铝	65	50	60
6061铝	75	50	75
7075铝	65	50	75

$$C = \frac{V \cos \alpha}{t_0^2} \frac{r}{w} \quad (12)$$

上式中  $w$  为成形中的凸缘宽度,  $r$  为凸缘起点处的半径, 其值为  $D_0/2 - w$ 。  $C$  越大越不容易起皱。由式 (12) 来看,  $C$  大就等于  $V$  可以取得大,  $r$  和  $t_0$  可以小, 当然也意味着凸缘宽度  $w$  减小也能变形。

通过对铝合金的试验得出如图 4-30 所示  $C$  和材料的加工硬化指数  $n$  之间的关系。由此可知，材料的  $n$  越小  $C$  就越大。因此在旋压中为防止起皱最好是用  $n$  值小的材料，当始终只用剪切旋压成形时尤其希望选用  $n$  值小的硬料（H 料）或半硬料（H/2 料）。

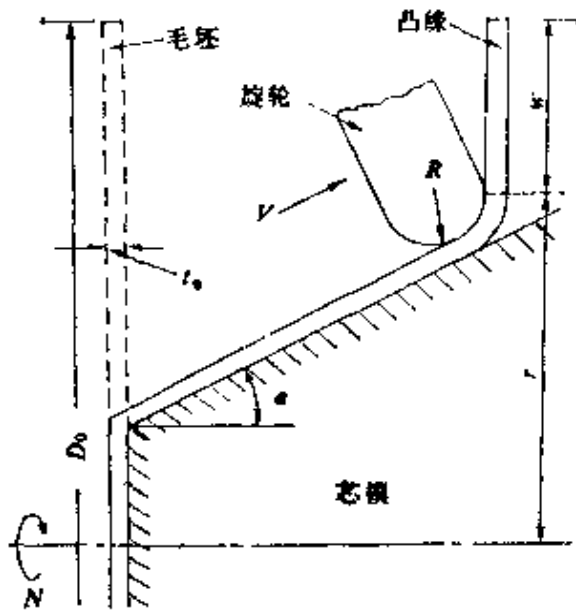


图 4-29 剪切旋压的起皱

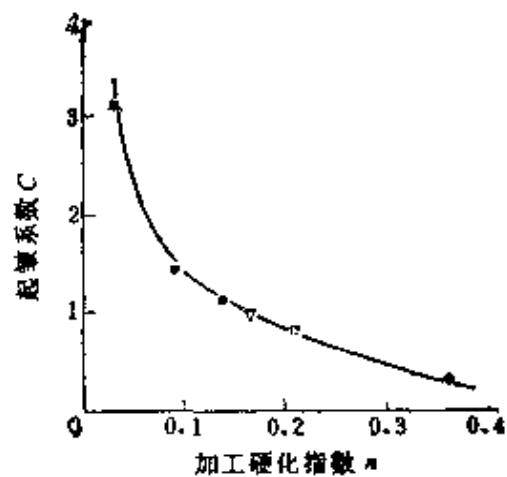


图 4-30 材料的加工硬化指数

与起皱系数的关系 ( $C$  小就容易起皱)

剪切旋压的成形性经常用可旋性这一术语来表示。这种情况下是以壁部是否破裂作为材料的特征值。因而表 4-3 所载的数据是表示壁部不开裂的壁厚减薄率。

对各种材料在各种工艺条件下成形锥体时，显然旋轮进给比是极其重要的因素。因此，锥体壁部的破裂可用相应于圆锥角  $2\alpha$  的旋轮极限进给比  $V_l$  或用某一进给比时的最小圆锥角表示。无论采用多小的进给比 ( $V \approx 0$ ) 壁部都破裂的  $2\alpha$  就是临界圆锥角。

由铝合金的试验结果可知，临界圆锥角与旋轮进给比  $V$  ( $\text{mm}/\text{r}$ ) 和材料拉伸试验的断面收缩率  $q_0$  之间具有下面的关系。已知最大壁厚减薄率  $R_f$  与临界圆锥角  $2\alpha$  之间的关系为：

$$R_f = 1 - \sin \alpha_f \quad (13)$$

则在断面收缩率  $q_0 > q'_0$  的范围内有:

$$R_f = 0.825 - 0.021V_f(q_0 - q'_0) \quad (14)$$

式中  $q'_0$  大致为 0.45。

对式 (14) 的含义可作如下的判断, 相应于  $V_f$  取多小壁部都破裂的临界圆锥角  $2\alpha_f$  可将  $V_f = 0$  代入式 (14) 后得到  $R_f = 0.825$ , 再由式 (13) 可得  $2\alpha_f = 20^\circ$ 。例如当使用  $q_0$  为 0.7 的材料成形圆锥角  $2\alpha_f$  为  $30^\circ$  的圆锥体时, 根据(13)和(14)可列出:

$$1 - \sin 15^\circ = 0.825 - 0.021V_f(0.7 - 0.45)$$

从而得出  $V_f = 1 \text{ mm}/r$ 。这就说明, 如果不采用  $1 \text{ mm}/r$  以下的进给比  $V$  壁部就将破裂。

选用  $q_0$  为 0.5 的材料时, 则有  $R_f = 0.825 - 0.42V$ , 所以在表 4-4 中给出了正确的最大进给比。圆锥角越大则可采用的进给比也越大, 相应于不同的锥角所选用的进给比必须小于表中给出的值。

表4-4  $q_0$ 小于0.5时旋轮的最大进给比

$2\alpha^\circ$	$V (\text{mm}/r)$	$R_f$
20	0	0.82
30	0.2	0.74
40	0.4	0.66
45	0.5	0.62
60	0.8	0.50

在  $q_0 \leq q'_0$  的情况下式 (14) 不成立, 所以  $q_0 \leq 0.45$  的材料是不能成形的。不过这是按公式推导得出的条件, 实际上有时在圆锥大的情况下采用小进给比, 则略为放宽这个条件也能成形。但是一般来说在选材时最好能考虑到  $q_0$  小的材料成形困难而容易破裂的因素。

如图 4-31 所示, 旋压半椭圆体时壁厚是逐渐变化的, 从锥

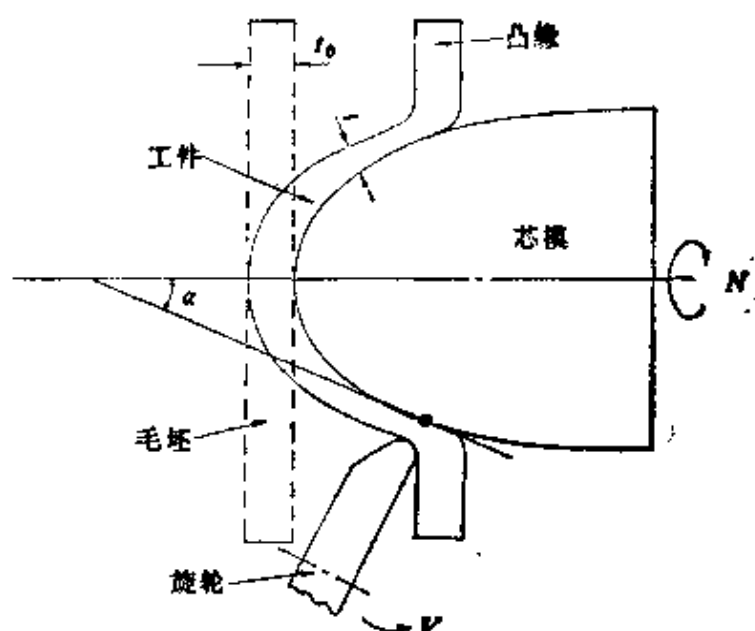


图4-31 椭圆体的成形

角来说能从  $180^\circ$  一直变化到  $0^\circ$ 。工件的壁厚可由  $\alpha$  角的正弦确定。因此只要测出破裂点的位置，就能用该  $R_f$  角并通过式(13)确定最大壁厚减薄率。对铝、铜、碳钢以及不锈钢进行试验求得  $R_f$  后，可以得出如下的经验公式。

$$R_f = q_0 / (0.17 + q_0) \quad (15)$$

由图 4-31 看出，成形椭圆体时先成形部分的壁厚总是比后成形部分的厚些。这与前述成形锥体时厚度不变的情况显著不同。因此式 (15) 与式 (14) 不同，式 (15) 中不包含进给比  $V$  的影响。

剪切旋压时旋轮对壁部施以集中力，所以如上所述材料的断面收缩率  $q_0$  越大越容易成形，而且材料的纯度和显微组织往往也有影响。材料中的折叠、偏析以及非金属夹杂物和杂质有导致裂纹的危险性。采用焊接的预制件时，如果焊缝中有熔渣或气孔就会使成形失败。对焊接区采用象剪切旋压这样的由旋轮和芯模夹着进行的成形方式是比较好的，当采取胀形的方式进行扩口时，由于处在拉伸变形下，扩张率受到限制，容易产生破裂。

就显微组织而言，具有均匀细晶粒组织的材料的可旋性好。

在新材料试旋时，要求其晶粒度在 ASTM-5 以上。采用铸造预制件时，为防止成形中出现裂纹和剥离，需对其预制件进行热处理以使其晶粒细化和均匀化。这些金相组织的因素有的直接关系到前述的材料断面收缩率的大小，有的则无直接关系，而对于后者尤需注意。

### (9) 润滑与冷却

剪切旋压时的旋压力很大。为了减小变形抗力、改善表面的成形质量，提高工具寿命以及排除成形热量而经常使用润滑剂。尤其是重型旋压更需要使用冷却剂来排除成形热。拉深旋压时的旋压力小，只需在毛坯上涂肥皂、黄油或石蜡就可以了，而通常可以使用机械油。表 4-5 是日本各大小企业使用的润滑剂。通过调查了解到有百分之十五的旋压件没有使用润滑剂，而使用润滑剂的旋压件中约有半数是用粘度系数小而对各条件合适的机械油。旋压时是旋转接触和流体润滑，对润滑剂的要求不太严格，表中的调查结果就暗示了这一点。通常在旋压时使用黄油、石蜡、硬石蜡、滑石以及肥皂与油的混合物。对不锈钢也试用石墨与机械油的混合剂。

表4-5 旋压使用的润滑剂

润滑剂的种类	工件种数	比率(%)
机械油	79	53.7
肥皂	19	13.0
混合油	16	10.9
石蜡	6	4.1
水溶性油	3	2.0
其他①	24	16.3
合计	147	100.0

① 黄油、铝系润滑剂和齿轮油

硬料和各种合金在旋压过程中需要很大的旋压力并伴生着大量的旋压热。在这种情况下，在毛坯的两面涂上胶态锌、二硫化钼或石蜡，同时还使用容易吸收和排除热量的冷却剂如 cimicool

等。涂润滑剂是为了减小摩擦力。它应能很好地附着在毛坯上，能与冷却剂一起使用而不至于流失。有时为增加其附着性还事先对毛坯进行磷化处理。

下面列举润滑剂商品来加以说明。负荷小时采用“金刚石315”齿轮箱油、“430”液压作动油，还可将“Hangsterfer S-500”通用切削油用水以1:7~1:30的比例稀释后再使用。负荷较大时采用“Johnson”、“石蜡105”和“122”等冲压与切削润滑剂，还可将“shamrock”矿物切削油以1:20的比例与水混合使用，或者用含有二硫化钼的“Hangsterfer”锻造复合剂。

采用流体润滑时，毛坯与旋轮是滚动接触，因而润滑剂容易导入接触面。实践证明，润滑剂的粘度系数越大、毛坯转速越高、旋轮直径越大、旋轮进给比越小，则润滑效果越好。

### 4.3 筒形变薄旋压成形技术

#### 4.3.1 成形的基本事项

旋轮紧压在与芯模同时旋转的管状毛坯上并沿管坯轴向运动从而制出薄壁长筒件，这种成形就是筒形变薄旋压。这种旋压有如图4-32所示的两种形式，即材料的流动方向与旋轮的移动方向一致的正旋以及材料的流动方向与旋轮的移动方向相反的反旋。

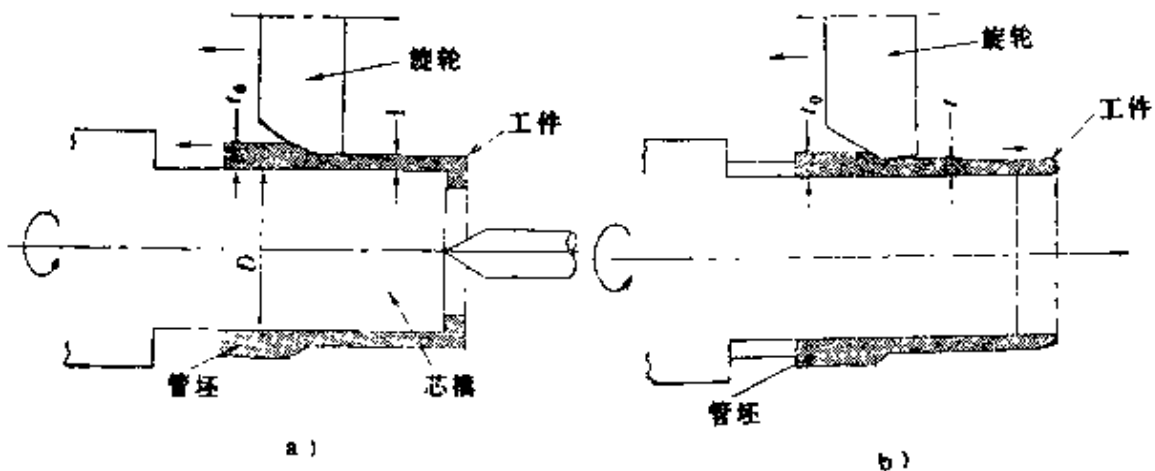


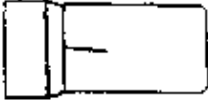

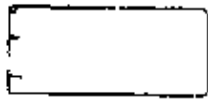

图4-32 筒形变薄旋压的种类

a) 正旋 b) 反旋

这种旋压与拉深旋压相比虽然工艺条件比较容易确定，但是影响成形的因素很多，这就需要掌握成形技术的系统知识。在表4-6中归纳了实际成形中可能产生的工件缺陷及其原因。应该选择适当的工艺条件以防止产生这些缺陷。虽然有许多制品只要得出其形状就可以了，但在制品精度要求高时必须对工艺条件进行精选。

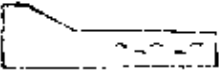

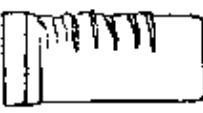

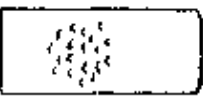
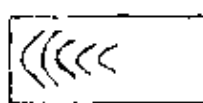

产生缺陷的原因和影响精度的因素有如下几个方面。(1) 毛坯方面包括材料、热处理和硬化程度等条件。(2) 旋轮的形状包括外径 $D$ 、成形角 $\alpha$ 和顶端圆角半径 $R$ 等。(3) 旋轮的进给比 $V_s$ 、壁厚减薄率 $R_s$ 、道次程序以及润滑条件等。(4) 成形方式包括正旋和反旋。

表4-6 筒形变薄旋压的工件缺陷


	种 类	形 状	原 因	备 注
破	a) 轴向破裂		1) 硬化度大 2) 进给比过大 3) 壁厚减薄率过大 4) 旋轮圆角半径大	1) 多出现于硬料
	b) 周向断裂		1) 进给比过大 2) 壁厚减薄率过大 3) 旋轮成形角大	1) 隆起过大是其 原因。所有材料都会 出现
裂	c) 端部裂纹		1) 硬化度大 2) 管坯端部有 伤痕	1) 这是不锈钢和 合金钢延迟断裂的原 因
	d) 人字形裂纹		1) 旋轮圆角半 径过小 2) 壁厚减薄率 小	1) 发生在圆筒内 表面 2) 多出现于铝及 其合金



(续)

	种 类	形 状	原 因	备 注
破 裂	e) 内部龟裂		1) 前道次的进给比与成形时的进给比的关系不适当	1) 发生在壁部剖面内部 2) 错距旋压时应注意
	f) 端部皱折		1) 壁薄时进给比过大 2) 由板材旋压的拉深比过大	1) 发生在几乎所有的薄壁圆筒上
皱 折	g) 壁部皱折		1) 最终道次之前坯料与芯模贴合太紧 2) 进给比过小 3) 壁厚减薄率过小	1) 发生的位置和大小各不相同
	h) 螺旋形皱折		1) 旋轮圆角半径大 2) 进给比小	1) 发生在薄壁圆筒上
表 面 缺 陷	i) 鳞状剥离		1) 壁厚减薄率过大 2) 进给比过大 3) 冷却不够	1) 板材的拉深旋压也会发生 2) 常发生在铝、铜和铁质件上
	j) 波纹状剥离		1) 材料(铝)纯度不高 2) 各向异性材料	1) 有时出现在圆筒内表面 2) 材料拉深旋压也会发生
	k) 局部变形		1) 夹有杂质 2) 润滑不均匀	

(续)

	种 类	形 状	原 因	备 注
表面缺陷	1) 旋轮压痕		1) 材料粘附在旋轮上 2) 旋轮顶端有伤痕	1) 分布有规律

$$R_0 = (t_0 - t) / t_0 \quad (16)$$

$$V_n = V / n_0 \quad (\text{mm}/\text{r}) \quad (17)$$

式中  $t_0$  为管坯厚度； $t$  为旋压件厚度； $V$  为拖板进给速度； $n_0$  是旋轮个数。

当缺陷的产生与毛坯材料无关时，则几乎所有的情况都是材料的流动与理想状态有很大的出入。图 4-33 所示的是材料在旋轮的前方产生隆起。隆起过高就使旋压力显著增大，导致工件的开裂、起皱、表面粗糙和精度变坏。旋压过程中最好是使隆起高度保持稳定，以使金属在稳定流动的情况下结束成形。在整个成形中如果隆起不断增高，造成金属的不稳定流动，那末通常都会导致工件破裂。

铝及其合金隆起增高的倾向性很强，软钢和高强度钢等的隆起现象很相似，不锈钢的隆起则稍高。由图 4-34 可知，如果旋轮进给比  $V_n$ 、壁厚减薄率  $R_0$  和旋轮成形角  $\alpha$  大则隆起增大。此外，反旋比正旋更容易形成隆起。

#### 4.3.2 旋轮形状的选择

筒形变薄旋压所用旋轮的形状如图 4-35 所示。用得最多的是  $c$  种，它对软钢、合金钢和不锈钢等较硬的材料尤为合适。它有退出角  $\beta$  而能使工件获得光亮的表面，但是它的旋压力比  $b$  种的大。如图 4-34 所示旋轮的成形角  $\alpha$  越大，隆起就越高而造成金属的非稳定流动，所以  $\alpha$  有个上限。铝及其合金更容易产生隆起故  $\alpha$  不能取大值。但当  $\alpha$  取得小时，就会使旋轮与毛坯的接触面积增大，同时使旋压力相应增大而带来不利的影响，因此成形角

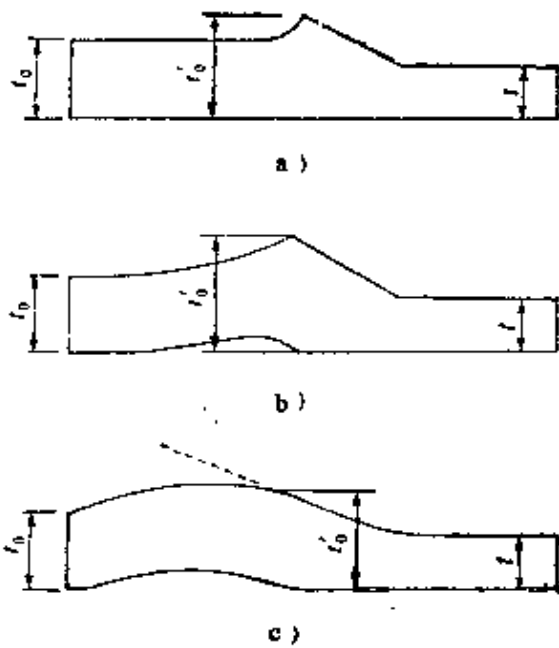
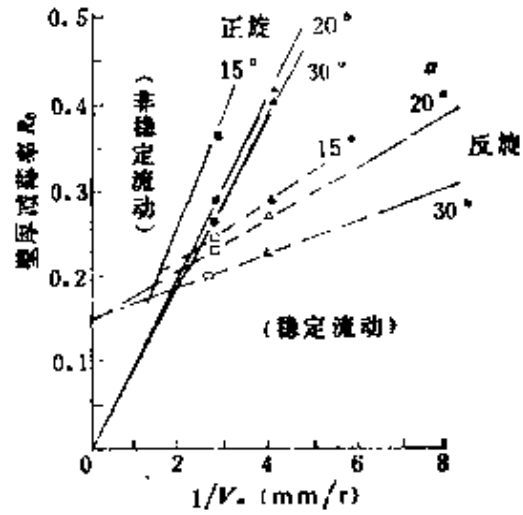


图4-33 隆起的形态

- a) 旋轮成形角大，进给比小  
 b) 旋轮成形角大，进给比大  
 c) 薄壁圆筒，圆角半径大

图4-34 最大壁厚减薄率  
与  $1/V_0$  的关系

$\alpha$  在  $20^\circ \sim 30^\circ$  的范围内选定。如果工件的壁厚在  $0.5\text{mm}$  以下，无论  $\alpha$  是过大还是过小都会使工件起皱。就防皱这一点而言，旋压不锈钢时  $\alpha$  最好取  $30^\circ$  左右。

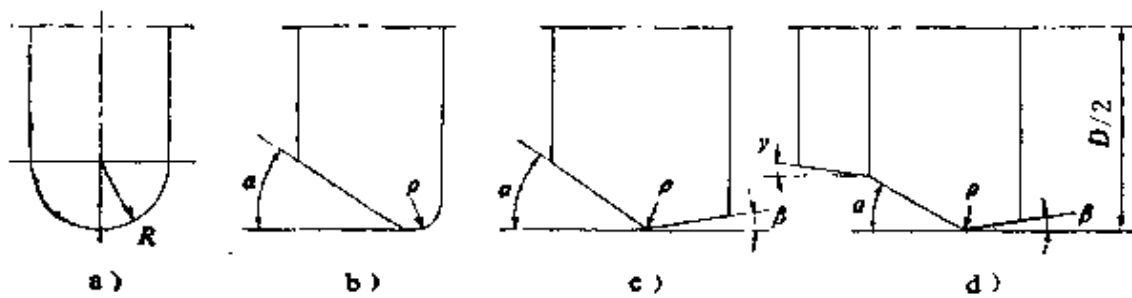


图4-35 筒形变薄旋压所用旋轮的形状

旋轮圆角半径  $\rho$  的确定几乎没有资料可循，而是凭经验取值。 $\rho$  取得过大会造成旋压力增加、工件内径扩大并使薄壁件起皱。 $\rho$  取得过小则容易产生材料的剥离。对硬料取  $\rho/D = 0.015 \sim 0.03$ ，软料最好取大一些。

表4-7 旋轮结构参数的实用值

材 料	$\alpha$ (度)	$\beta$ (度)	$\gamma$ (度)	$\rho/D$
软 钢	20~25	3~6	3~5	0.015~0.03
不 锈 钢	25~30			
经过退火	25左右			
未经退火				
合 金 钢	25~30			
铝及其合金	12~15	3	3	0.04~0.09
黄 铜	25~30	3	3	—

旋轮外径  $D$  取得过小时使金属的周向流动增加, 从而使工件的精度变差。当取得过大时则旋压力与  $\sqrt{D}$  成正比地增加。 $D$  值还随旋轮的个数  $n_0$  而异。通常取用的  $D$  值是  $(1.2\sim 2)d$ , 这里  $d$  为芯模直径。表 4-7 列出了由经验和文献整理出来的旋轮结构参数。

#### 4.3.3 旋轮进给比的选择

旋轮的形状确定之后, 第二个问题就是旋轮进给比的选择。为了获得良好的成形状态, 下面说明如何按壁厚减薄率  $R_0$ 、管坯厚度  $t_0$ 、旋轮直径  $D$  以及圆角半径  $\rho$  来确定进给比。

##### (1) 旋轮进给比 $V_r$ 与壁厚减薄率 $R_0$ 的关系

由图 4-34 可大体上知道  $V_r$  与  $R_0$  的关系。即使采用比图中更严酷的成形条件材料也并不破裂而仍然能够成形。但是从旋压件的精度和表面粗糙度乃至材料在芯模上的贴合程度来说, 图中划出了大体的成形界限。由此可见, 为了促成金属的稳定流动, 若  $R_0$  取大值则  $V_r$  必须取小值。当  $R_0$  取为某个定值时  $V_r$  相应地有个最大临界值, 若  $V_r$  取得过小则工件内径扩大而使精度变差。工件太薄时还会起皱。图 4-36 给出了不锈钢起皱临界线的示例。此外  $R_0$  不能取得太小, 正旋时最好取  $R_0 > 0.15$ 。

##### (2) 旋轮进给比与管坯厚度及旋轮形状的关系

图 4-37 的示例是相对管坯厚度  $t_0$  而建议采用的旋轮进给

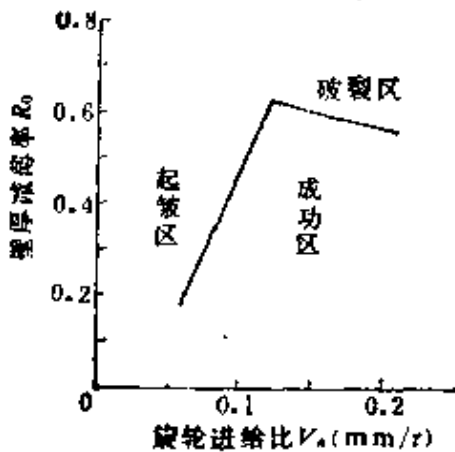


图4-36 在不同的 $V_s$ 和 $R_0$ 下旋压成功区的图示(不锈钢, 预加工率80%,  $t_0 = 0.3\text{mm}$ )

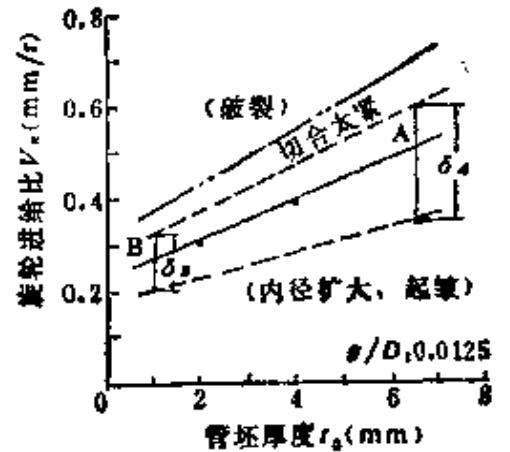


图4-37 旋轮进给比与管坯厚度的关系(1)(高强度钢,  $d = 200$ ,  $D = 240$ ,  $\rho = 3$ ,  $R_0 = 0.5$ , 正旋)

比的范围。 $t_0$  越小  $V_s$  的许用范围 ( $\delta_B$ ) 越窄,  $t_0$  越大范围 ( $\delta_A$ ) 越宽。 $V_s$  的最佳值用黑点和  $AB$  线表示。如果  $V_s$  超过上限值 (图中的上虚线), 则毛料会与芯模贴得太紧而使工件取不下来。如果在多道次旋压中有这种情况, 就会出现表 4-6 8 所载的壁部起皱的情况。若  $V_s$  再增大而超过图中的双点划线, 工件就开裂了。相反, 若  $V_s$  低于下限值 (图中的下虚线) 就使工件内径扩大并导致精度变差。尤其当  $t_0$  小时工件也会起皱但原因与上述的不同。

当减小旋轮直径  $D$  并加大  $\rho/D$  时, 图 4-38 中的点划线  $CD$  就成为  $V_s$  的适宜值, 它比前面所述由  $AB$  线所示的最佳值大。由于  $\rho$  的增大和  $D$  的减小使金属的周向流动增加, 因而  $V_s$  可以加大。

### (3) 已有数据的利用方法

对新的筒形件进行变薄旋压时可以利用已有旋压实例的数据来确定其工艺条件, 下面介绍一种方法。

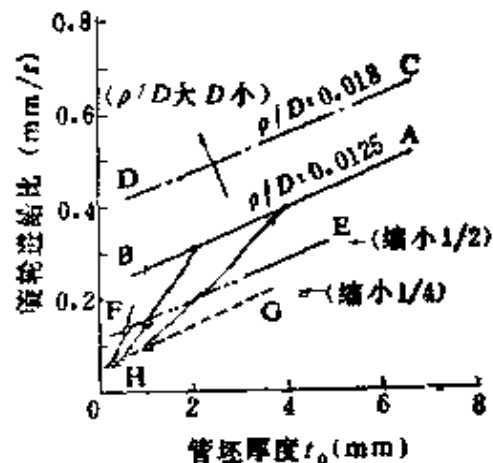


图4-38 用 $V_s-t_0$ 图推算成形条件  
( $AB$ 的条件与图4-37相同)

假设有两个管坯A和B，其材料相同，几何相似 ( $d_B/d_A = t_{0B}/t_{0A} = x_w$ ，长度无关联)。成形时使用几何相似的旋轮 ( $D_B/D_A = \rho_B/\rho_A = x_R$ ， $\alpha_A = \alpha_B$ )，并且采用相同的壁厚减薄率  $R_0$ 。在这种情况下取  $x_w = x_R = x$  时，按经验旋轮进给比  $V_A$  和  $V_B$  之间保持  $V_B/V_A \approx x$  的关系。图4-38中的双点划线EF就是用尺寸缩小二分之一的旋轮按已知数据(实线AB)加工尺寸缩小二分之一的工件 ( $x_w = x_R = 1/2$ ) 时  $V_r$  与  $t_0$  之间的关系。同样，虚线GH是表示尺寸缩小四分之一即  $x_w = x_R = 1/4$  时  $V_r$  和  $t_0$  的关系。由此推算出的数据与实际相近似。当  $x_w \neq x_R$  时可先缩小或扩大工件，由缩小或扩大的比例来推算旋轮的直径  $D$  和圆角半径  $\rho$ 。当实际的  $D$  比推算值大和实际的  $\rho/D$  比推算值小时，就把进给比  $V_r$  减小使其低于推算值。反之亦然。

将上述方法用于不同材料的工件时，对软钢取的  $V_r$  仍可适用于高强度钢等合金钢，对不锈钢取的  $V_r$  应比软钢的小百分之十，对铝及其合金在采用  $\alpha = 12^\circ \sim 15^\circ$  的旋轮时取与软钢相等或略小的  $V_r$ 。由这样的方法得出的推算值按实际条件作一些补偿后就能有效地用于成形。

图4-39表示在正旋和反旋时旋轮进给比  $V_F$  和  $V_B$  的关系。它有助于在已知其中一种成形方式时对另一种成形方式的工艺条件的推算。

#### 4.3.4 旋轮道次程序的确定

对除铝合金外的普通材料进行筒形变薄旋压时，一道次的壁厚减薄率可以达到0.7~0.8，但是考虑到旋压件的精度和表面质量而取  $R = 0.55$  为限。要达到更大的壁厚减薄率就需要进行多道次旋压。如果每道次都要改变旋轮形状而更换旋轮就会降低生产率。把旋轮顶端圆角半径  $\rho$  取为工件壁厚  $t_0$  的十倍以

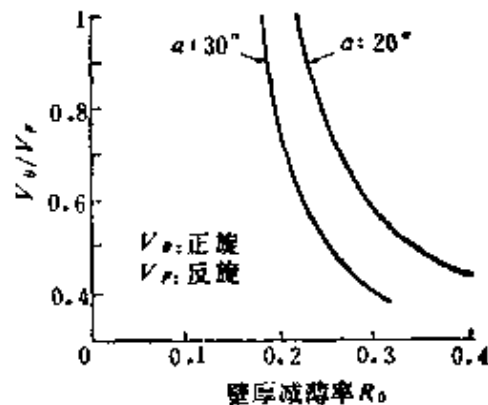


图4-39 筒形变薄旋压的正旋进给比和反旋进给比(软钢)

下，就可以用一个旋轮完成全部道次。在多道次旋压时后期道次的壁厚减薄率  $R_i$  可以加大。这是因为初期道次的壁部厚、旋压力大，而且随着成形率的增加材料的隆起变小。

如图 4-37 所示，旋轮的进给需要随着壁厚的减薄而减小，但是不必对每个道次的  $R_i$  和  $V_i$  都加以严格的区别，可以每 2~3 道次取一个平均值。除了最终道次以外中间道次所使用的进给比  $V_i$  应不使坯料与芯模贴合过紧，以免工件起皱。设各道次的管坯内径变化量为  $\Delta d_N$ ，则经  $N$  道次制出的旋压件的内径  $d_N$  可以用  $d_N = d_0 + \sum_1^N \Delta d_N$  表示。 $\Delta d_N$  受  $V_i$  大小的影响也有可能是负值，紧贴在芯模上的旋压件被取下后内径将减小。

举一例子作具体说明。现将厚度  $t_0$  为 7mm 的管坯旋成壁厚  $t$  为 1mm 的产品（总壁减薄率  $R_0$  为 0.857）。各道次的壁厚减薄率  $R_i$  与  $R_0$  之间具有如下的关系（ $N$  为道次数）。

$$\ln(1 - R_1) + \ln(1 - R_2) + \dots + \ln(1 - R_N) = \ln(1 - R_0) \quad (18)$$

设各道次的平均壁厚减薄率为  $\bar{R}$ ，则上式就变成  $N \ln(1 - \bar{R}) = \ln(1 - R_0)$ 。假设  $\bar{R} = 0.4$ ，则  $N = 4$ ，即旋压该产品需要四道次。越往后的道次  $R_i$  越可以加大，故取  $R_3 = R_4 = 0.45$ 。而取  $R_1 = R_2$  并由式 (18) 得  $R_1 = R_2 = 0.313$ 。由各壁厚减薄率能得到壁厚  $t_i$ ，所以图 4-40 表示出  $V_i \sim t_i$  关系后就可以对  $t_0 \sim t_3$  采用  $V_{*1} \sim V_{*4}$ 。不过对 1~3 道次也可以采用其平均进给比  $V_A$ ，但点 A 必须在可能成形的范围（成功区）内。假如各道次都采用四个道次的平均进给比  $V_B$ ，则因 B 点

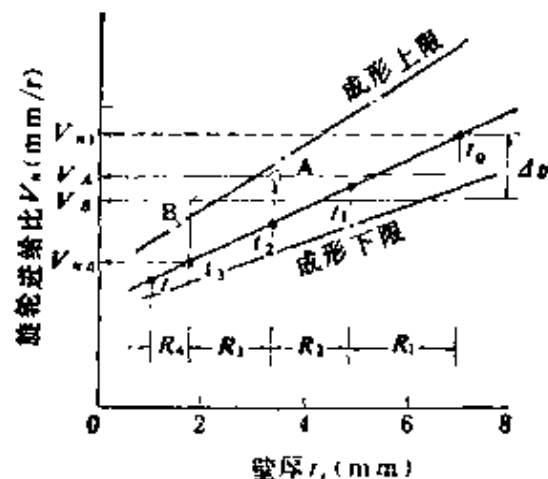


图 4-40 多道次成形中  $V_{*i}$  的确定法

⊖ 原文为  $t_0$ ——译者注

超出了成形的上限而造成第四道次的进给比过大。另外还可以预料到，因第一道次的 $V_{a1}$ 与 $V_b$ 之差加大，造成圆筒件内径的增大而对精度不利。

从提高生产率来说希望旋压次数尽量少，旋轮进给比尽量大。但是考虑到成形中的特点和各种限制还是以采用恰当的道次程序为宜。



## 第五章 旋压成形实例

技术人员很感兴趣的是旋压件的种类、名称及其尺寸规格,尤为关注的是旋压成形的工序、所用工具以及工艺条件等详细的内容。本章收录了各种形状和尺寸的实际产品及其旋压成形的各种事项。有些制件虽然形状相似,但是材料和尺寸不同,从中可以看出它们独自的价值。

当某种产品新采用旋压成形的时候,若它和本章中某一实例的形状和尺寸相同,当然就可以沿用该实例的成形方法。即使形状不同,但实例中记述的事项也可以作为推断其旋压可行性的参考或用于试旋。

上述情况以往都是凭技术人员的经验来处理的,象这样用整理汇集的数据及文字进行技术说明尚无先例,所以本章的实例是非常宝贵的记录。尤其是这些实例中反映的都是实际市场上的商品的成形特征。

### 5.1 记载成形实例的顺序和符号

为了系统掌握实例的成形技术,特按以下的顺序统一记载。

1) 制件名称。尽可能写出具体名称,但有的制件按用户的具体要求保密。

2) 材料。名称和热处理状态清楚的材料用代号表示。

3) 毛坯尺寸。毛坯有板材、管材以及由冲压等加工的预制品。板材采用直径 $\times$ 厚度,如 $\phi 200 \times t 2$ 。管材采用直径 $\times$ 厚度 $\times$ 长度,如 $\phi 300 \times t 5.5 \times L 430$ 。

4) 成形旋轮。主要的旋压成形用旋轮的形状、尺寸以及个数表示如下。

例如 SR1 (A, D200, R20) 个数

SR2 (B, D150, R10) 个数

SR1 和 SR2 是使用二种以上的旋轮 SR 时按使用顺序附上 1 和 2。A 和 B 表示旋轮的形状, 如图 5-1 所示。C 表示其他形状。D200 和 D150 中的字符 D (mm) 表示旋轮的直径。R20 和 R10 中的字符 R (mm) 表示旋轮的圆角半径。

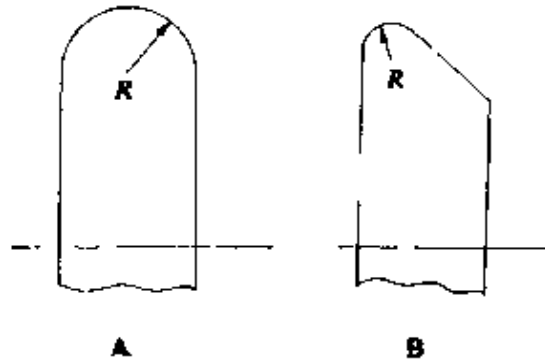


图5-1 旋轮的种类

此外, 属于辅助加工的工具及其代号有以下几种。

切割轮——TR; 切刀——TB; 卷边轮——CR; 硬质合金擀棒 (压头) ——C; 反推辊——BR。

5) 毛坯转速即毛坯每分钟的转数 ( $r/min$ )。

6) 旋轮进给量即旋轮进给速度。采用两种表达方式, 即旋轮的实际速度 ( $m/min$ ) 和旋轮相对毛坯每转的进给量 ( $mm/r$ )。在实际成形中旋轮的移动方向是关系成形的重要因素, 旋轮的安装角  $\delta'$  通常是  $30^\circ$ 。当用了  $mm/r$  表示时, 乘上毛坯的转速就能折合成  $m/min$ 。反之也可以由  $m/min$  折合成  $mm/r$ 。

7) 加工时间。原则上是指安装毛坯后到加工结束的时间。

8) 加工顺序。一道次成形用直线表示, 多道次拉深旋压用锯齿形折线表示, 还有表面精整等符号。

9) 注意事项。这一条收录了各种成形中的技术问题, 以供参考。记载重要的事项尽量做到详细并加上若干说明, 使之容易理解。

## 5.2 各种成形实例

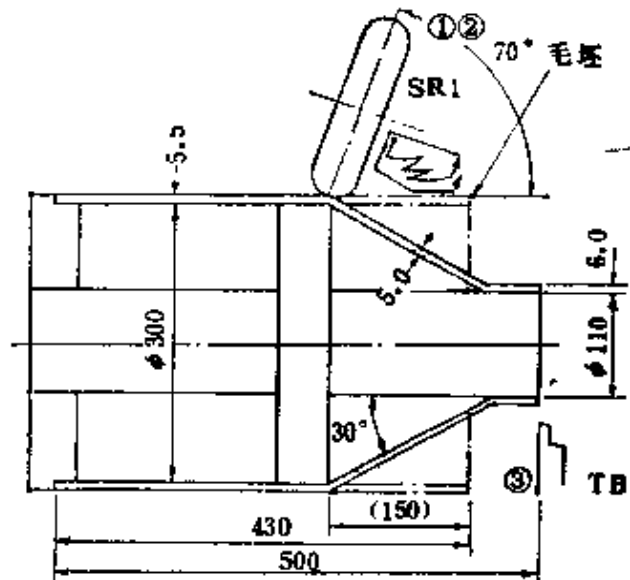
下面阐述的是各种形状和材料的制品采用旋压成形的六十个实例。旋压的工艺条件是在一定的范围内改变的, 实例中采用的条件不能说在任何情况下都是最佳的。可能有的技术人员采用了更好的旋压成形方法和工艺条件。不过这些毕竟是成功的实例, 因而是有价值的。

## 【例 1】

- |            |   |
|------------|---|
| (1) 制件名称   | 蓄能器 (铜管收颈, 包括大小不同的制件)   |
| (2) 材料     | C1020T  |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 300 \times t 5.5 \times L 430$ (铜管)   |
| (4) 成形旋轮   | SR(A, D200, R24) 一个, TB 一个  |
| (5) 毛坯转速   | 400 r/min   |
| (6) 旋轮进给速度 | 多道次拉深旋压为 1.68 m/min, 表面精整为 0.25 m/min   |
| (7) 加工时间   | 6.5 min   |
| (8) 加工顺序   | ①SR·多道次拉深旋压 (30次) → ②SR·表面精整 → ③TB·切边   |
| (9) 注意事项   | 只对毛坯一端长约 150mm 的成形部分进行退火, 然后成形。不用中间退火。旋轮倾斜 $70^\circ$ , 最好按 3 mm 的移动间距进行间歇进给。移动量过大壁部就会变薄。为了准确旋出头部的直径和形状要注意芯模和毛坯的支承。旋压这种制件的成形条件可以随要求而改变, 成形时间当然随之而变。 |

图中多道次拉深旋压的箭头只指向外侧, 即只向着管端旋压, 这样锥形部分将被减薄。如果使旋轮返回, 组成往复旋压道次就可以使口部增厚。这是旋压成形的一个特点, 方法不同结果就有某种程度的不同。毛坯的厚度相对其直径之比  $t_0/D_0$  ( $5.5/300$ ) 和旋轮的圆角半径也有影响, 不过还没有找到统一的规律。

然而只要理解了基本的成形方法而不造成成形的困难, 就容易进行道次安排。

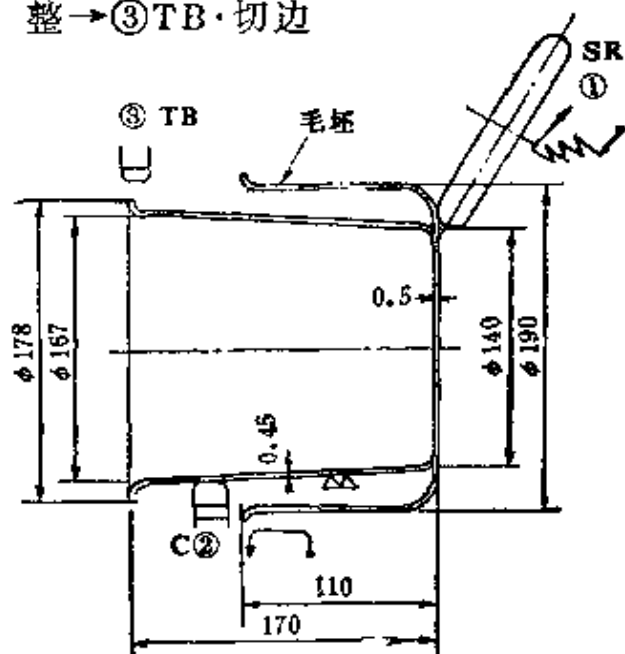


## 【例 2】

- |            |   |
|------------|---|
| (1) 制件名称   | 吊桶  |
| (2) 材料     | A 1100 P-O  |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 190 \times t 0.5 \times h 110$ (冲压预制件)      |
| (4) 成形旋轮   | SR(A, D 140, R 10) 一个, TB 一个, C (硬质合金擗棒, 用于精整) 一个 |
| (5) 毛坯转速   | 1200 r/mm   |
| (6) 旋轮进给速度 | 多道次拉深旋压为 1.8 m/min 分精整为 2 m/min                   |
| (7) 加工时间   | 45 s  |
| (8) 加工顺序   | ① SR·多道次拉深旋压 → ② C·精整 → ③ TB·切边                   |

(9) 注意事项 板坯很薄, 仅用拉深旋压很难成形, 故与冲压成形相结合即使用冲压预制件。即使这样, 如果采用一次旋压成形也会开裂, 因此确定用多道次拉深旋压。确定预制件的最佳形状需要作些试验, 但只要在正式成形用的芯模上用旋压试拉深也 就容易进行试验。

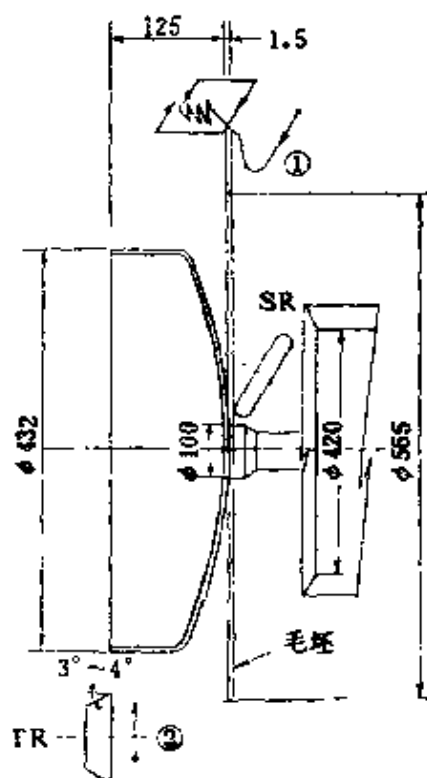
铝制件要求表面光整, 用旋轮 (SR) 进行多道次旋压后需要用硬质合金擗棒 C 进行表面精整。特别是使擗棒的压头能自由摆动而与工件表面很好地接触则精整效果更好。有时还宜于给硬质合金压头夹上橡皮以缓解压头上多余的力。



## 【例 3】

- |            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| (1) 制品名称   | 盖子 (一次成形)                             |
| (2) 材料     | SUS302                                |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 555 \times t 1.5$               |
| (4) 成形旋轮   | SR (A, D160, R10) 一个, TR 和 BR 各一个     |
| (5) 毛坯转速   | 600 r/min                             |
| (6) 旋轮进给速度 | 剪切旋压为 1.5 mm/min, 多道次拉深旋压为 0.5 mm/min |
| (7) 加工时间   | 3.25 min                              |
| (8) 加工顺序   | ① SR · 球面剪切旋压, 凸缘多道次拉深旋压 → ② TR · 切边  |
| (9) 注意事项   | 因有球面故使用 $\phi 100$ 和 $\phi 420$ 两种    |

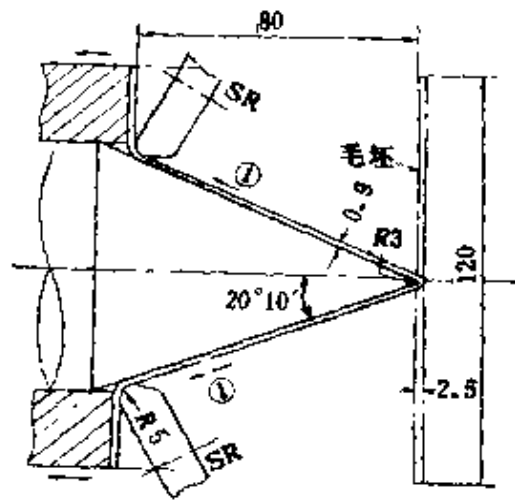
种尾顶块, 若只用  $\phi 100$  这一种尾顶块, 则因材料回弹大而不能成形。为此采用如图所示的双级尾顶架。球面成形后凸缘的多道次拉深旋压是使旋轮作往复运动来完成的。但是成形 SUS302 这种容易加工硬化的材料时, 为防止开裂而只能让旋轮在一个方向施旋即采用单向拉深旋压, 而且要使用反推辊 (BR), 旋轮以快速返回。经过 9 次单向拉深旋压能够完成成形。采用这种方法加工不锈钢时可以不经热处理就成形。TR 是工作面带  $3^\circ \sim 4^\circ$  斜角的切边轮, 若用 SK2 或 SK3 材料制造, 可以切 5 mm 厚的不锈钢。



## 【例 4】

- |           |                            |
|-----------|----------------------------|
| (1) 制件名称  | 空心圆锥件                      |
| (2) 材料    | T <sub>0.0p</sub> 1-0      |
| (3) 毛坯尺寸  | 120 × 120 × t 2.5 (注意这是方板) |
| (4) 成形旋轮  | SR (B, D130, R5) 二个对置同时使用  |
| (5) 毛坯转速  | 450 r/min                  |
| (6) 旋轮进给比 | 0.15 mm/r                  |
| (7) 加工时间  | 80 s                       |
| (8) 加工顺序  | ①用二个 SR 进行剪切旋压             |
| (9) 注意事项  | 这是最标准的圆锥件剪切旋压, 不过          |

有尖顶而无法支承, 需要设法使用夹具固定毛坯。夹具在成形中往后退, 这样就可以从毛坯的中心开始成形。用一个旋轮也可以旋压, 不过芯模长而圆锥角  $2\alpha$  ( $\alpha$  为  $20^\circ 10'$ ) 小时, 用两个旋轮可以防止芯模挠曲和振动, 容易给定芯模与旋轮之间的间隙。通常是用尾



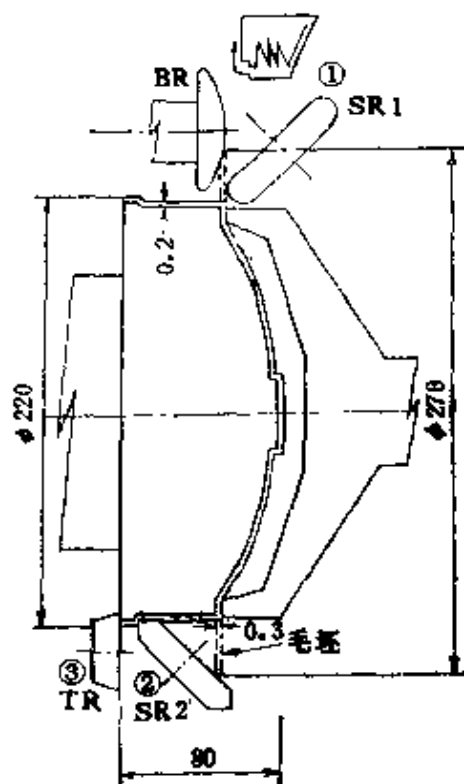
座顶住毛坯的中心部分, 但本例比较特殊, 剪切旋压对毛坯的周边没有约束, 毛坯用圆板或方板都没有关系。这种制件要求  $3\sim 5 \mu R_{max}$  的表面粗糙度。为了获得光洁的表面而采用了很小的旋轮进给比。这种制件的成形虽然简单, 夹持毛坯却费时间。

## 【例 5】

- (1) 制件名称 浮子 (比较大型的工业用浮子)
- (2) 材料 铜
- (3) 毛坯尺寸 冲压预制件 (球形), 板坯  $\phi 270 \times t 0.3$
- (4) 成形旋轮 SR1(A,  $D 160, R 6$ ) 一个, BR 一个, SR2(C,  $D 140, R 3$ ) 一个, TR 一个
- (5) 毛坯转速 拉深旋压为  $1400 \text{ r/min}$ , 表面精整为  $800 \text{ r/min}$
- (6) 旋轮进给比  $0.7 \text{ mm/r}$
- (7) 加工时间  $40 \text{ s}$
- (8) 加工顺序 ①SR1·多道次拉深旋压→②SR2·角部成形→③TR·切边

(9) 注意事项 板坯极薄

故使用预制件, 直边部分进行多道次拉深旋压。板材越薄越容易起皱, 虽然拉深部分的凸缘不大但是为防止起皱而在开始旋压时使用反推辊 (BR)。必须注意的是反推辊只给凸缘短时间的推压就需退出, 如果一直用反推辊板材反而会变薄。粗成形的多道次拉深旋压应很小心地进行 20 次左右。使用专门设计的毛坯托架顶住冲压预制件的大圆弧部分。为了准确地成形角部采用了特殊形状的旋轮 SR2。

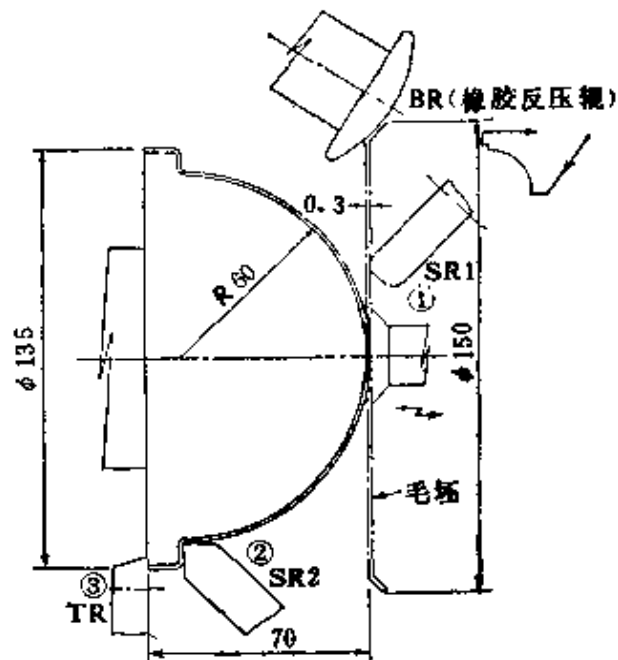


## 【例 6】

- (1) 制作名称 浮子 (小型球状)
- (2) 材料 铜
- (3) 毛坯尺寸  $\phi 150 \times t 0.3$
- (4) 成形旋轮 SR1(A,  $D 160, R 6$ ) 一个, BR 一个, SR2 (C,  $D 140, R 3$ ) 一个, TR 一个
- (5) 毛坯转速  $800 \text{ r/min}$
- (6) 旋轮进给比  $0.7 \text{ mm/r}$
- (7) 加工时间  $20 \text{ s}$
- (8) 加工顺序 ①SR1·简单拉深旋压→②SR2·角部成形→③TR·切边

(9) 注意事项 拉深比很小 ( $150/135$ ), 可以采用简单拉深旋压。但是板材很薄, 事先需要对凸缘部分进行外翻边以提高抗力。为防止起皱而使用反推辊, 而且最好用橡胶辊。从防皱来说, 旋轮的进给比以小为宜。毛坯应尽量用小的尾顶块固定, 以便顺利地成形  $R 60$  的球面部分。用 SR2 成

形角部时很可能开裂, 必须特别注意。把旋制的两个半球体密合起来就组成了浮球。在这种情况下还可以反过来对芯模尺寸按回弹进行修正。铜浮球很薄, 应该特别注意。

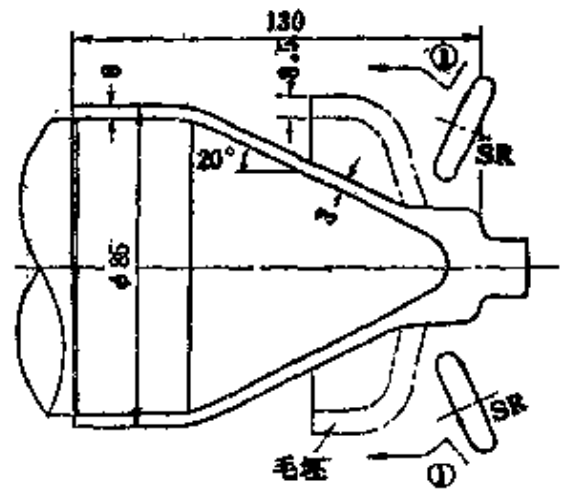




## 【例 7】

- |            |                                 |
|------------|---------------------------------|
| (1) 制件名称   | 机械零件                            |
| (2) 材料     | S 20 C                          |
| (3) 毛坯尺寸   | 锻造预制件                           |
| (4) 成形旋轮   | SR (B, D 300, R 8)两个, 对置使用      |
| (5) 毛坯转速   | 300 r/min                       |
| (6) 旋轮进给速度 | 220 mm/min                      |
| (7) 加工时间   | 40 s                            |
| (8) 加工顺序   | ①SR1 和 SR2 对置, 先进行剪切旋压后进行筒形变薄旋压 |
| (9) 注意事项   | 用通常的锻造方法不可能制造这样                 |

薄 (3 mm) 而深的零件。旋压时, 使施加旋压力的对置旋轮同步就容易使力平衡。先对  $20^\circ$  的锥体部分进行剪切旋压, 接着进行筒体部分的变薄旋压。这是同时并用两种变薄旋压的例子, 可望得到进一步推广。零件厚, 成形中会产生塑性变形热, 必须用大量的水溶性润滑剂冷却成形部分。设计这种锻造预制件必须遵循正弦率。



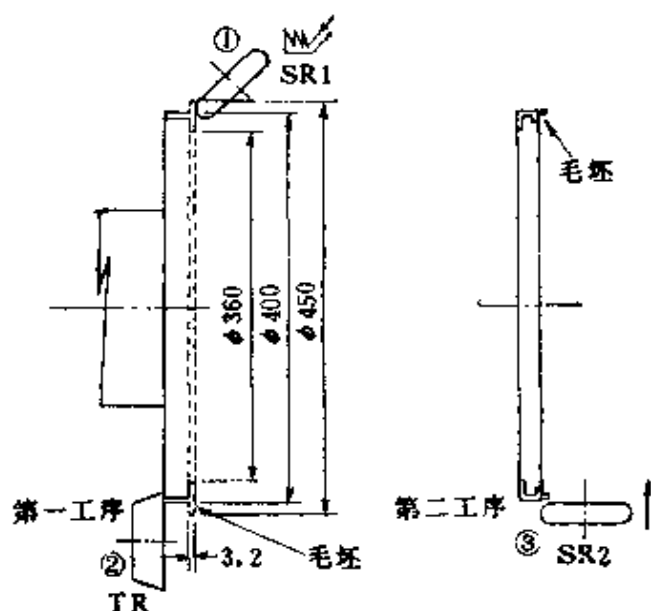
由于对成形的尺寸要求高, 必须正确计算而使壁厚分布适宜。成形这种零件时需加大旋压力, 故必须使用刚性较大而坚固的旋压机。这种方法在这样的零件和其他重型加工零件的应用在不断增加, 尤其是锻造和旋压的复合成形很受重视。

## 【例 8】

- |           |  |
|-----------|--|
| (1) 制件名称  | 油封圈 (多种尺寸规格, 小量生产件)                                  |
| (2) 材料    | SPCC   |
| (3) 毛坯尺寸  | $\phi 450 \times t 3.2$                              |
| (4) 成形旋轮  | SR1 (A, D220, R40) 一个, TR 一个, SR2 (A, D140, R40) 一个  |
| (5) 毛坯转速  | 400 r/min  |
| (6) 旋轮进给比 | 1.5 mm/r   |
| (7) 加工时间  | 30 s (第一道工序)   |
| (8) 加工顺序  | ①SR1 · 多道次拉深旋压 → ②TR · 切边, 于是转入第二道工序 → ③SR2 · 简单拉深旋压 |
| (9) 注意事项  | 从 $\phi 450$ 的毛坯上切削加工出 $\phi 360$                    |

的孔, 然后用SR1 进行多道次拉深旋压, 成形出外径部分。第一道工序结束时进行切边便确定了零件的形状。第二道工序先压入密封垫, 并用弹簧夹头从外边对带密封垫的半成品进行抱合支承, 然后用SR2 进行简单拉深旋压以固定密封垫。第二道工序的旋压拉深量不太大, 不用模具就能顺利地完

成。这种大直径油封圈是多品种小批量生产的制件, 用旋压成形能获得很好的效果。由于第一道工序的拉深比很小因而可以考虑能否用简单拉深旋压, 用厚板材是否合适以及毛坯支承是否困难。



## 【例 9】

- |           |                                     |
|-----------|-------------------------------------|
| (1) 制件名称  | 汽化器 (特殊圆筒)                          |
| (2) 材料    | A 1050 P                            |
| (3) 毛坯尺寸  | $\phi 270 \times t 3.0$             |
| (4) 成形旋轮  | SR (A, $D 170$ , $R 10$ ) 一个, TR 一个 |
| (5) 毛坯转数  | 900r/min                            |
| (6) 旋轮进给比 | 多道次拉深旋压为 1.7mm/r, 精整为 0.5mm/r       |
| (7) 加工时间  | 200 s, 其中拉深旋压 140 s, 精整 40 s        |

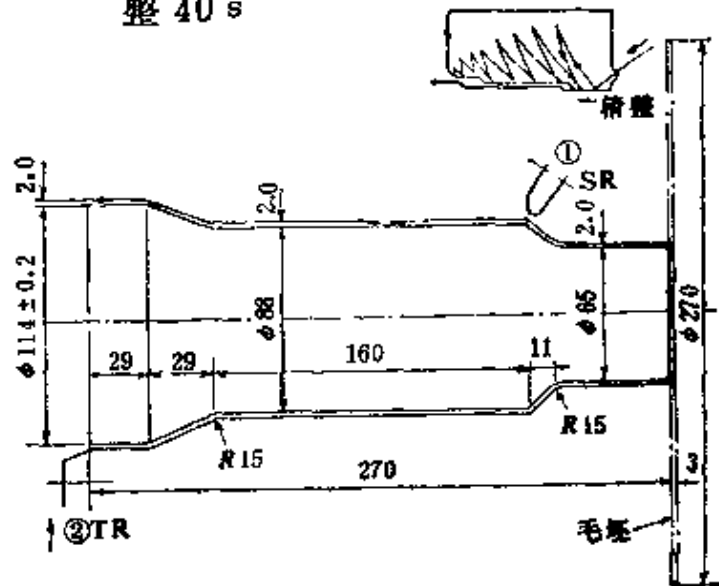
## (8) 加工顺序

①SR·多道次拉深旋压 → ②TR·切边

## (9) 注意事项

这是圆筒件拉深旋压的典型实例。这样带台阶的圆筒件需要进行15次往复拉深旋压。由于板坯比较厚而不必担心起皱,

因此可以加大摆动模板的移动间距  $P$  和旋轮进给比, 可以采用往复拉深旋压, 当然也不必用反推辊 BR。拉深比为  $270/114$  即 2.37, 属于相当深的旋压件。旋压后壁厚肯定不均匀, 需要精旋把它调整为 2 mm, 此时最好把旋轮进给比减小到拉深旋压时的 1/3 左右。圆筒口部的尺寸精度也必须确保。据说最高精度是 5/100mm 左右。这种制件的产量不大, 大致是月产 30 个。



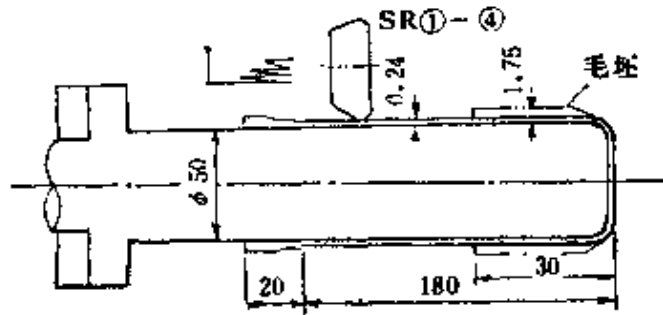
## 【例10】

- |            |  |
|------------|--|
| (1) 制件名称   | 机械零件   |
| (2) 材料     | SUS304   |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 50 \times t 1.75 \times L 30$  |
| (4) 成形旋轮   | SR(C, $\phi 70$ , R1) 三个, 以 $120^\circ$ 均布   |
| (5) 毛坯转速   | 400 r/min  |
| (6) 旋轮进给速度 | 四道次分别为 $0.25 \rightarrow 0.25 \rightarrow 0.25 \rightarrow 0.17$ m/min   |
| (7) 加工时间   | 135 s  |
| (8) 加工顺序   | ① SR · ( $t 1.75 \rightarrow t 1.1$ ) → ② SR · ( $t 1.1 \rightarrow t 0.64$ ) → ③ SR · ( $t 0.64 \rightarrow t 0.3$ ) → ④ SR · ( $t 0.3 \rightarrow t 0.24$ ) 共四道次筒形变薄旋压 |

(9) 注意事项 这是筒形变薄旋压的典型实例, 通过四道次将坯件厚度 1.75mm 减薄到制件壁厚 0.24mm。壁厚很薄, 需注意防止材料开裂和圆筒起皱。为此旋轮进给速度要选得小而适当。可变的成形条件是旋轮进给比和最终道次的壁厚减薄量, 都以小为宜。

如果在成形装置上下功夫, 对毛坯轴向施加一定的拉伸力, 就可以减小压下力, 使在旋轮的成形角部分不出现材料堆积, 能达到比  $t 0.24$  更薄的壁厚。

成形后卸件是个问题。由于制件与芯模贴得太紧, 设法将它顺利地拔出来是至关重要的。



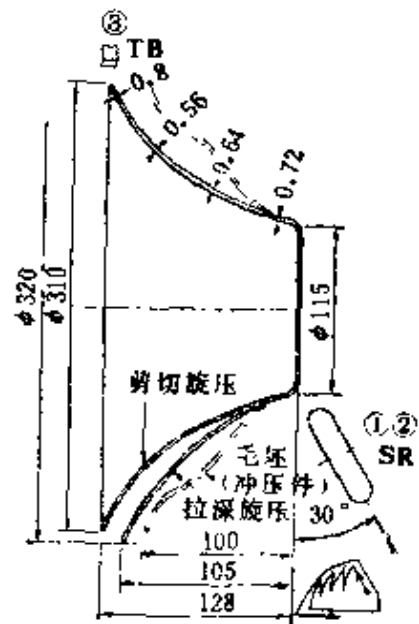
## 【例11】

- |            |   |
|------------|---|
| (1) 制件名称   | 管乐器的喇叭口   |
| (2) 材料     | BsP1  |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 320 \times t 0.8 \times h 100$ (冲压预制件)          |
| (4) 成形旋轮   | SR(A, D169, R15) 一个, TB一个                             |
| (5) 毛坯转速   | 625 r/min   |
| (6) 旋轮进给速度 | 多道次的往程道次为 0.42 m/min, 回程道次为 2.0 m/min, 精整为 0.42 m/min |
| (7) 加工时间   | 1.8 min   |
| (8) 加工顺序   | ①SR·多道次拉深旋压→②SR·精整成形→③TB·切边                           |

(9) 注意事项 也可

以不用冲压预制件而用板材进行多道次拉深旋压。鉴于乐器的特殊性, 对壁厚分布的要求很严格, 所以确定冲压预制件的形状也比较难, 一般是凭经验确定。图中的壁厚尺寸是对名贵乐器成形的大致要求。用板坯直接成形时, 应注意到若拉深旋压次数过多就会因材料的加工硬化而引起底上的角部破裂。考虑到这一点, 同时还考虑到表面

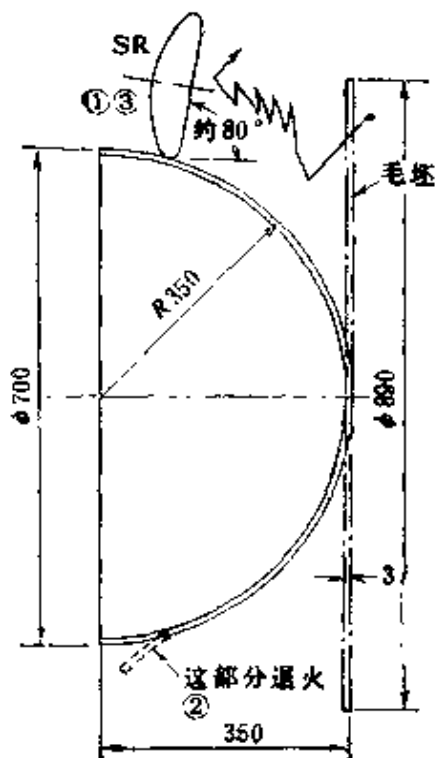
光洁故进行中间退火后再成形。从坯厚 0.8mm 来看, 还是以采用冲压预制件为宜。引人注目的是为使壁厚达到要求, 旋压的最后一道工序是用剪切旋压来调整壁厚。能够利用芯模与旋轮之间的间隙并通过剪切旋压调整壁厚是旋压的特点。在预制件冲压时的成形量实际上是很少的。



## 【例12】

- |            |   |
|------------|---|
| (1) 制件名称   | 压力容器 (如高压釜)                                     |
| (2) 材料     | SUS304  |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 890 \times t 3$                           |
| (4) 成形旋轮   | SR(B, D220, R20) 一个                             |
| (5) 毛坯转速   | 200 r/min                                       |
| (6) 旋轮进给速度 | 目测, 确切速度不清楚                                     |
| (7) 加工时间   | 约 10min   |
| (8) 加工顺序   | ①SR·多道次拉深旋压→②成形<br>率达80%后进行中间退火和酸洗→<br>③SR·精整成形 |

(9) 注意事项 压力容器的特性和最小壁厚是由用户提出的, 在图上面没有标出。选用了厚 3mm 的板坯, 用手工旋压很困难, 即使板厚减少一半看来也难成形。由于直径比较大, 在成形毛坯外缘时顶块中心容易错位, 而中心又是不能打孔的, 这就需要对尾顶装置进行研究, 尽量采用大顶块顶压, 也往往采用分两次更换不同顶块的方法。成形到图中虚线所示形状 (约 80%) 后进行热处理, 以便最后精整出 R350 的半球。在 10min 内能制造这样的旋压件堪称上乘, 大概需要相当大的成形力。

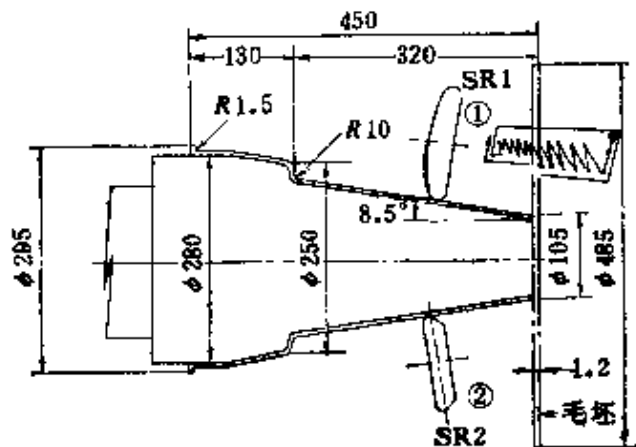


## 【例13】

- |            |   |
|------------|---|
| (1) 制件名称   | 套筒  |
| (2) 材料     | SPCE  |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 485 \times t 1.2$                                       |
| (4) 成形旋轮   | SP1(A, $D 200, R 18$ ) 一个, SR2<br>(B, 角部成形用辅助旋轮) 一个,<br>BR 一个 |
| (5) 毛坯转速   | 450 r/min   |
| (6) 旋轮进给速度 | 目测, 确切速度不清楚   |
| (7) 加工时间   | 3.5min  |
| (8) 加工顺序   | ①SR1·多道次拉深旋压→②SR2<br>·角部成形→③BR·凸缘成形                           |
| (9) 注意事项   | 由 $\phi 485$ 的毛坯变成口部为 $\phi 295$ 、                            |

底部为  $\phi 105$  的制件, 这是拉深比大而成形条件苛刻的拉深旋压, 即使采用多道次成形也很困难。特别是长度约为直径 ( $\phi 105$ ) 的三倍、锥角为  $17^\circ$  的圆锥, 且外周还有未成形部分存在, 因而很难成形。就圆锥角为  $17^\circ$  而

言, 采用剪切旋压一道次就可以成形, 但因为  $1.2 \times \sin 8.5^\circ = 0.18\text{mm}$ , 达不到所需的壁厚, 因此采用多道次拉深旋压。精整时使用辅助旋轮 SR2, 将台阶处的角部成形出来, 而且 SR2 也恰好能推压  $\phi 250$  部分的直立壁部。为在旋压行程的最终部分得出  $R 1.5$  的圆角, 使用反推辊 (BR) 在它逆着尾顶后退的时候成形出凸缘。这种多道次拉深旋压件的台阶角部和凸缘的成形方法是具有参考价值的。



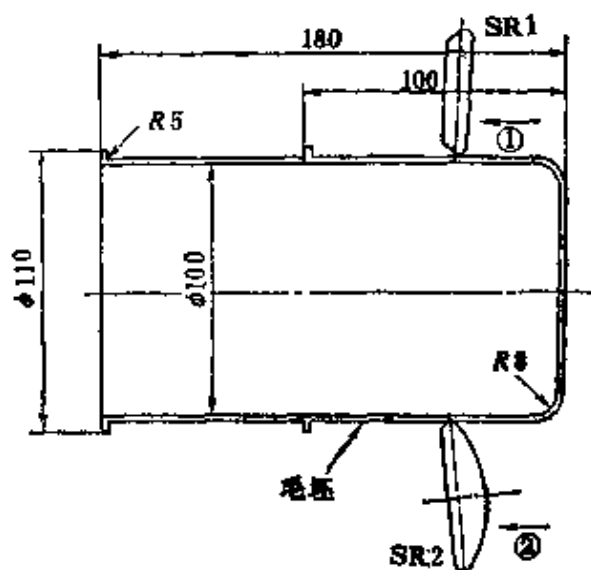
## 【例14】

- |            |  |
|------------|--|
| (1) 制件名称   | 深圆筒容器  |
| (2) 材料     | SUS304   |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 100 \times t 1 \times L 100$ (冲压预制件)               |
| (4) 成形旋轮   | SR1(A, $D 150, R 3$ ) 一个, SR2(B, $D 150, R 5$ ) 一个(硬质合金) |
| (5) 毛坯转速   | 800 r/min  |
| (6) 旋轮进给速度 | 1 m/min  |
| (7) 加工时间   | 1.5 min  |
| (8) 加工顺序   | ①SR1·筒形变薄旋压→②SR2·筒形变薄旋压                                  |
| (9) 注意事项   | 冲压预制件(拉深比为2~2.2)   |

留有小凸缘, 用两个旋轮

(SR) 进行筒形变薄旋压。预制件与芯模之间可以有小间隙。用 SR1 进行微量的拉深作业以消除间隙, 同时使壁厚减薄, 这样得不到足够的减薄量, 因此在 SR1 的对面, 滞后 SR1 约 10mm 装一个 SR2 以进行变薄旋

压, 使工件长度达到 180mm。旋轮进给速度为 1m/min, 比较快。如果太慢则产生碾压作用, 可能会增大工件直径而使之不合要求。对置旋轮的作用是保持力的平衡, 不使长芯模弯曲。该件是不锈钢, 考虑到它对旋轮的磨损大, 故采用了硬质合金旋轮。此外 SR2 的轴线相对于本身的进行方向倾斜  $7^\circ$ 。这种深的筒形件采用变薄旋压是很有效的。

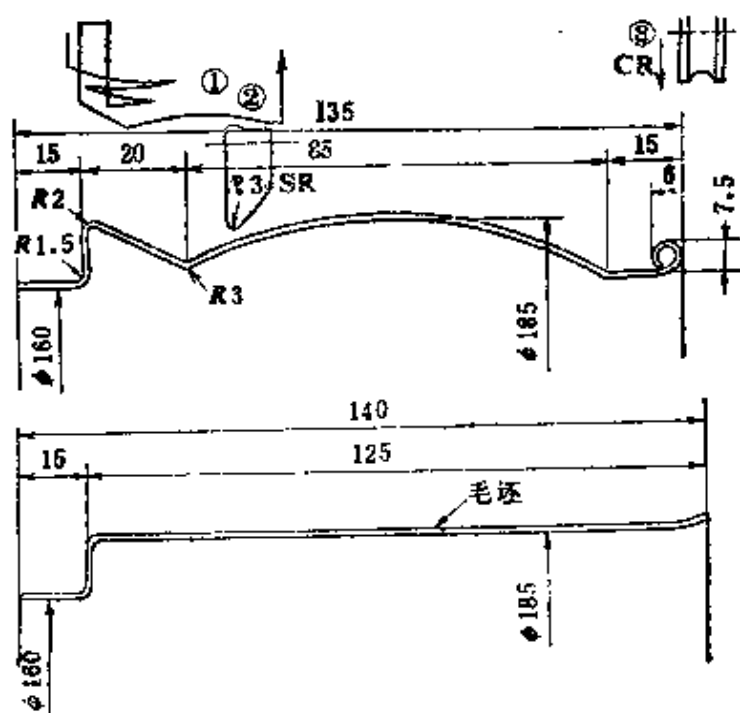




## 【例15】

- |            |  |
|------------|--|
| (1) 制件名称   | 大型吸尘机的尘袋止动用具                             |
| (2) 材料     | SPCC                                     |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 380 \times t 1.0$ , 图中的下图是冲压预制件的形状 |
| (4) 成形旋轮   | SR(B, D150, R3) 一个, CR 一个                |
| (5) 毛坯转速   | 800 r/min                                |
| (6) 旋轮进给速度 | 目测, 确切速度不清楚                              |
| (7) 加工时间   | 1min                                     |
| (8) 加工顺序   | ①SR·多道次拉深旋压→②SR·鼓起部分的简单拉深旋压→③CR·卷边       |
| (9) 注意事项   | 通常是采用轮式偏心芯模。使用                           |

SR 通过多道次拉深旋压拉深左边复杂的缩颈部分。毛坯是采用  $\phi 380$  的板材冲压成  $\phi 185 \times L 140$  的预制件。 $\phi 160$  的一段也可以采用旋压成形, 而采用冲压大概是为了节省工序。大圆弧的鼓起部分大概是采用简单拉深旋压的。因为工件

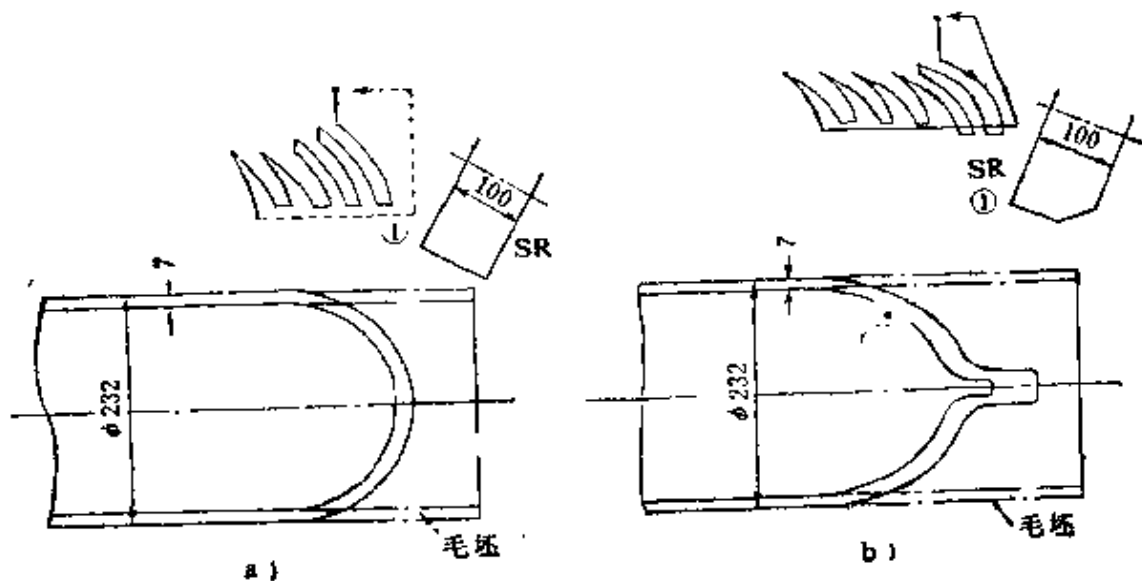


从芯模上卸不下来, 故设法在偏心轮内装一个作动筒, 使其移动 7mm 就能卸件。由于成形量不大, 旋轮径向移动量小, 所以模板的制造很麻烦。

## 【例16】

- |            |   |
|------------|---|
| (1) 制件名称   | 压力容器  |
| (2) 材料     | STH70   |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 232 \times t 7 \times L 1500$ (管材)      |
| (4) 成形旋轮   | SR(C, D350 $\times$ 宽100的平面旋轮)一个, 同样尺寸的成形旋轮一个 |
| (5) 毛坯转速   | 750 r/min                                     |
| (6) 旋轮进给速度 | 3 s 内往复摆动 90°                                 |
| (7) 加工时间   | 75 s  |
| (8) 加工顺序   | ①SR·多道次拉深旋压, 往复 20 次                          |

(9) 注意事项 这是高压气瓶的热旋压封口。由于成形尺寸大, 使用的旋轮也格外大, 并且不使用 SR·A 的圆弧旋轮而使用 SR·C 的平面旋轮。旋轮按照图示的轨迹进行多次往复运动。热旋压温度约为 1100°C, 应注意由外周向中心部分加热, 去除氧化皮, 最后使管端完全锻接起来。图 b 是这种压力容器的端头成形示例, 同样进行 1100°C 的热旋压。考虑到其端头形状, 采用了图示的 SR·C 旋轮。根据这样的实例可以说, 由旋压将管坯制成高压气瓶是比较容易的, 其过程能够自如地进行, 与传统的工艺方法相比在减轻制件重量等方面都有很大的进步。

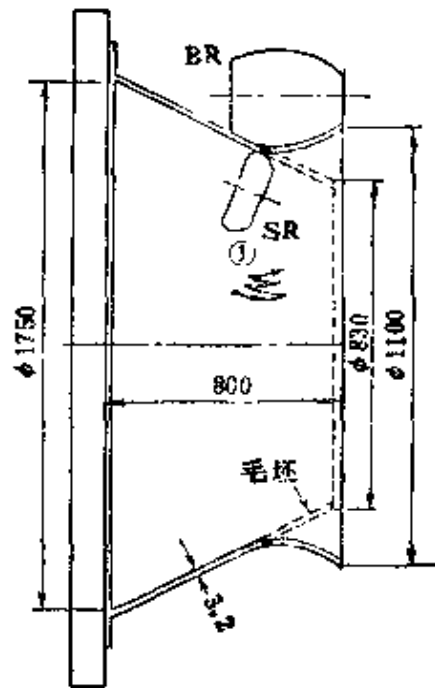


## 【例17】

- |           |                                    |
|-----------|------------------------------------|
| (1) 制件名称  | 鼓风机零件                              |
| (2) 材料    | SPH                                |
| (3) 毛坯尺寸  | $t 3.2$ , 焊接的圆锥形预制件                |
| (4) 成形旋轮  | SR(A, $D 300$ , $R 25$ ) 一个, BR 一个 |
| (5) 毛坯转速  | $150 \text{ r/min}$                |
| (6) 旋轮进给比 | $2 \text{ mm/r}$                   |
| (7) 加工时间  | $9 \text{ min}$                    |
| (8) 加工顺序  | ①SR·多道次扩径旋压, 只用往程道次成形, 需进行 18 次    |

(9) 注意事项 鉴于直径大的特点而使用焊接预制件。锥体大端安装在主轴花盘上, 旋轮 (SR) 仿反推辊 (BR) 的形状进行多道次扩径旋压。BR 也不一定制得与成形的形状一样大, 可以使它运动并与 SR 一起夹着毛坯进行成形, 但此时轮子的运动要麻烦一些。焊缝有产生裂纹的危险, 问题在于旋压次数的安排。这种情况下以多道次扩径旋压为宜, 总扩径率为  $(1100 - 830)/830$ , 即 32.5%, 通常是 15~25%, 但依材料和焊

接条件的不同而变化很大。例如深拉深用冷轧钢板 (SPCE) 可达 30% 以上, 而 SS41 则在 15% 以下就会由敞口端产生裂纹。裂纹不仅产生在焊缝上, 有时也会产生在基体材料上, 但扩管时有拉伸和弯曲的作用而可望提高延伸率。此外, 毛坯厚度也是重要的因素。



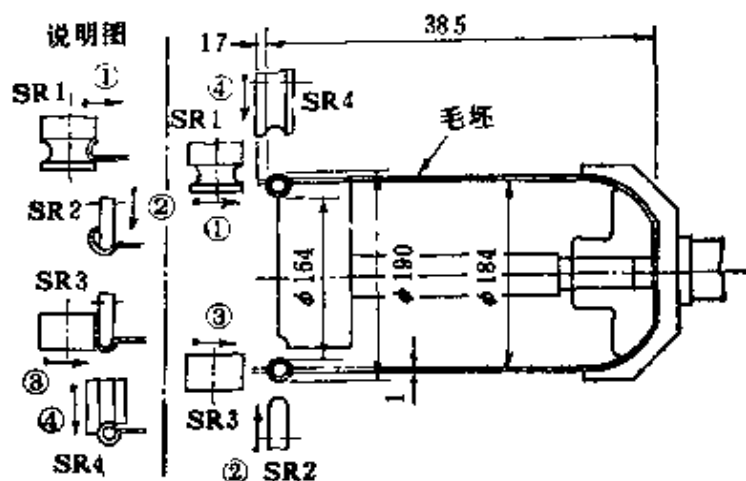
## 【例18】

- |            |  |
|------------|--|
| (1) 制品名称   | 脱水桶  |
| (2) 材料     | SPCC   |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 184 \times t 1 \times L 385$ (带底焊接件)                             |
| (4) 成形旋轮   | SR1(C, 类似卷边轮的水平旋轮) 一个, SR2(C, 压凹旋轮) 一个, SR3(C, 平面旋轮) 一个, SR4 (等于CR) 一个 |
| (5) 毛坯转速   | 200 r/min  |
| (6) 旋轮进给速度 | 使用SR1时为 0.6 m/min, 使用SR2、SR3和SR4时为 1 m/min                             |
| (7) 加工时间   | 15 s   |
| (8) 加工顺序   | ①SR1·卷缘→②SR2·压内筋→③SR3·凸缘展平→④SR4·卷边                                     |
| (9) 注意事项   | 从SR1到SR4按加工顺序看图,   |

这是非常复杂的成形方法, 但需注意这只是特殊的卷边成形。

用SR1将筒坯的一端弯起圆弧状凸缘, 然后用SR2向筒坯内侧压筋, 接着用SR3将SR1成形的圆弧展平, 最后用

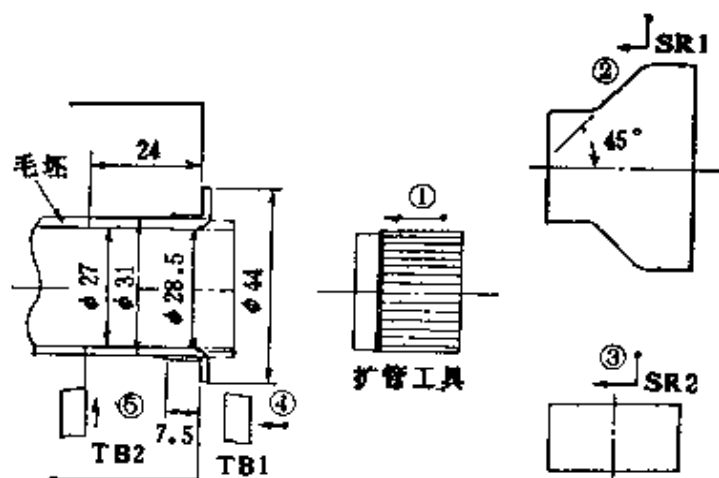
卷边旋轮SR4将径向立着的凸缘卷圆。卷边时, 筒里边要使用带有卷边形状的偏心模使成形准确。考虑到是卷板的预制件而且长, 装卡时毛坯的偏摆宜控制在3mm以内。



## 【例19】

- |            |   |
|------------|---|
| (1) 制件名称   | 衬套 (汽车零部件)  |
| (2) 材料     | STKM11A   |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 31 \times t 2 \times L 5500$                        |
| (4) 成形旋轮   | SR1(C, D30) 一个, SR2(C, D60) 平面旋轮一个, 扩管工具一个, TB1 和 TB2 各一个 |
| (5) 毛坯转速   | 200 r/min   |
| (6) 旋轮进给速度 | 0.6 m/min   |
| (7) 加工时间   | 包括切割在内共 15 s  |
| (8) 加工顺序   | ①扩管工具·扩径→②SR1·凸缘部分扩口→③SR2·凸缘成形, 精整→④TB1·切边→⑤TB2·切割        |

(9) 注意事项  
使用硬质合金扩管工具并注以润滑剂将管端扩成圆筒状, 成形出  $\phi 28.5$  的部分。据说用一个 SKD11 模具钢扩管工具能够制造约一万个衬套。



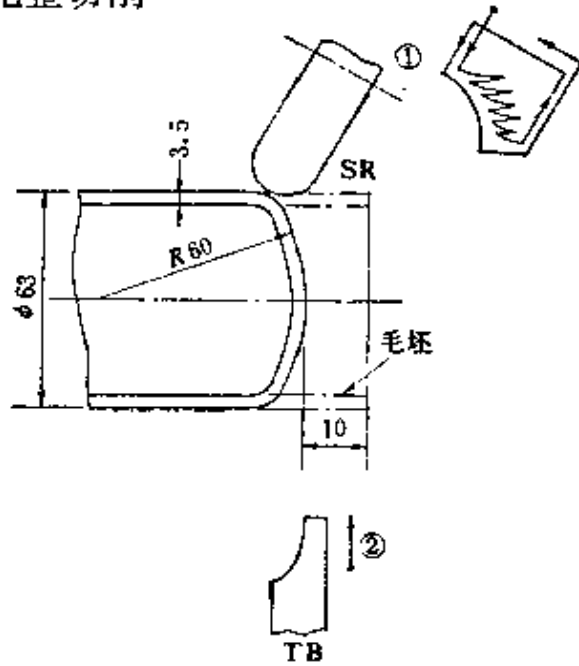
SR1 带有  $45^\circ$  倾角的锥体。旋轮进给速度小就比较容易扩口。扩口过度则管壁会过于减薄。扩出  $45^\circ$  锥端后平旋轮就能容易地旋制平凸缘。最后用切刀 TB1 修切凸缘并推出管材用 TB2 切下 24 mm 长的衬套。这样的衬套种类很多, 形状各异且应用范围很广。全用旋压很费时间, 所以同时使用扩管工具进行扩径。

## 【例20】

- |            |  |
|------------|--|
| (1) 制件名称   | 金属球棒的端头                                |
| (2) 材料     | A 6061, A 7178-T 6 (硬质)                |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 63 \times t 3 \times L 900$ (管材) |
| (4) 成形旋轮   | SR1 或 C (R 10, 硬质合金压头)<br>一个, TB 一个    |
| (5) 毛坯转速   | 1000 r/min                             |
| (6) 旋轮进给速度 | 1 m/min                                |
| (7) 加工时间   | 60 s                                   |
| (8) 加工顺序   | ①SR1 · 拉深旋压 → ②TB · 切割并<br>光整切削        |

(9) 注意事项 这种管端封口通常是用旋压成形。A 6061软料可以用旋轮进行多道次冷拉深旋压, 但 A 7178-T 6 硬料在旋压成形时需要加热, 因此特别采用硬质合金压头巧妙地利用其摩擦热进行多道次成形。端头不是熔焊连接而是压焊连接, 据说能够耐压 2 kgf

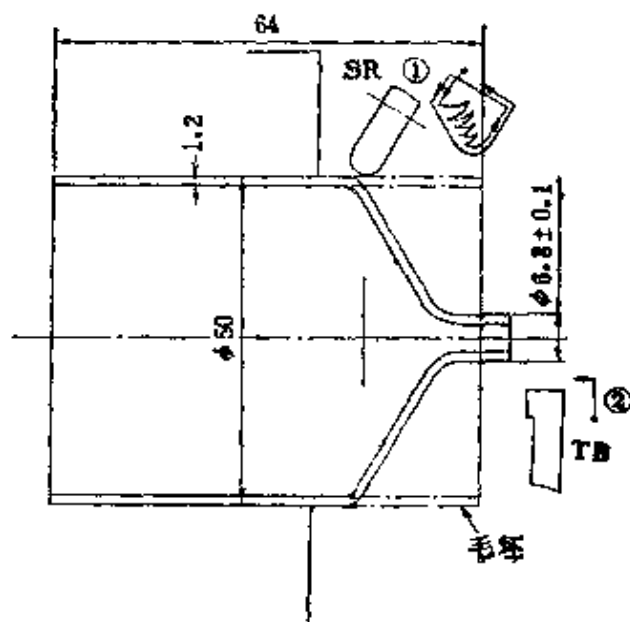
/cm<sup>2</sup>(0.196MPa)。用旋轮旋压 A 7178-T 6 球棒头时会出现裂纹。用压头边摩擦边成形时则容易引起剥离, 故需适当滴一些油。但油滴多了会产生冷却作用而不适宜。成形的表面很粗糙, 需用切刀 (TB) 切去表层以调整形状和表面粗糙度。这只需推压一次就可以完成。



## 【例21】

- |            |   |
|------------|---|
| (1) 制件名称   | 冷却器的蓄能器                                 |
| (2) 材料     | A 1100TD-O                              |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 50 \times t 1.2 \times L 64$ (管材) |
| (4) 成形旋轮   | SR (A, D120, R 6) 一个, TB 一个             |
| (5) 毛坯转速   | 1000 r/min                              |
| (6) 旋轮进给速度 | 1.5 m/min                               |
| (7) 加工时间   | 15 s                                    |
| (8) 加工顺序   | ①SR·收口→②TB·切边                           |
| (9) 注意事项   |   |

这种制件用的材料是机械结构用碳钢管(STKM)和铜。当采用A 1100TD-O时表面容易产生剥离,但是制件的性能没有问题,将有剥离处打磨后即成为产品。对于细口部分要插入心轴以确保图示的精度。切边时要注意不让切屑进入器内。这一实例的收口量很大,很值得参考。

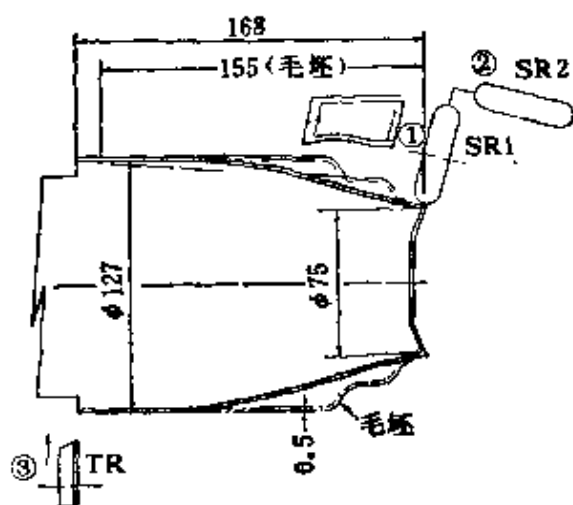


旋轮的进给速度和每道次压下的间距是重要的工艺参数。口部附近和肩部的壁厚受旋轮的运动方向所左右,需要特别注意。原则上旋轮向管端移动时壁厚减薄,反之由管端向中间移动时则加厚。

## 【例22】

- |            |  |
|------------|--|
| (1) 制件名称   | 壶 (摇混器同此)  |
| (2) 材料     | SPCE (也用不锈钢)   |
| (3) 毛坯尺寸   | 深 $155 \times t 0.5$ (冲压预制件, 底 $\phi 75$ , 口 $\phi 127$ )          |
| (4) 成形旋轮   | SR1 (A, D 120, R 10) 一个, SR2 (A, D 120, R 15) 一个, TR 一个            |
| (5) 毛坯转速   | 用 SR1 粗成形时为 $1000 \text{ r/min}$ , 用 SR2 精整时为 $1500 \text{ r/min}$ |
| (6) 旋轮进给速度 | $1.275 \text{ m/min}$  |
| (7) 加工时间   | 25 s   |
| (8) 加工顺序   | ①SR1·剪切旋压→②SR2·表面精整→③TR·切边   |
| (9) 注意事项   | 若完全用冲压成形就需要7~8道工序  |

序, 因此以图示的阶梯形冲压件作预制坯, 通过剪切旋压制出成品。本来可以采用浅拉深后再旋压减薄延伸的方案。拉深件的形状和深度的确定是关键, 没有公式。最好比计算值小 20~30%。若用直圆筒的冲压预制件就必须采用多道次拉深旋压。按图纸的形状和尺寸



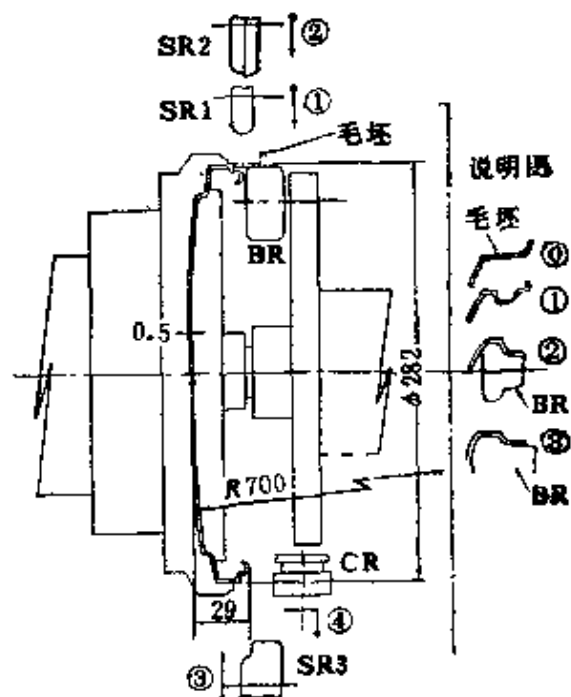
成形出的制件会有些回弹, 设计芯模的时候可以把这个因素考虑进去。表面精整时使用的 SR2 应比 SR1 的圆弧半径大, 在毛坯转速提高后相应减小旋轮的进给比。此外, 值得注意的是冲压时形成的角部冲压线也得到了消除。



## 【例23】

- |            |  |
|------------|--|
| (1) 制件名称   | 盖 (电锅)   |
| (2) 材料     | SUS430   |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 282 \times t 1$ (浅冲压预制件)   |
| (4) 成形旋轮   | SR1 (A, D 100, R 7) 一个, SR2 (C, D 98, R 3) 一个, SR3 (C, D 85) 一个, CR 一个, SR2 还用作 TR |
| (5) 毛坯转速   | 600 r/min  |
| (6) 旋轮进给速度 | —  |
| (7) 加工时间   | 30 s   |
| (8) 加工顺序   | ①SR1 · 部分拉深旋压 → ②SR2 · 成形和切边 → SR3 · 卷边部分的成形 → CR · 卷边                             |
| (9) 注意事项   | 制件的形状虽然很复杂, 但是仍然   |

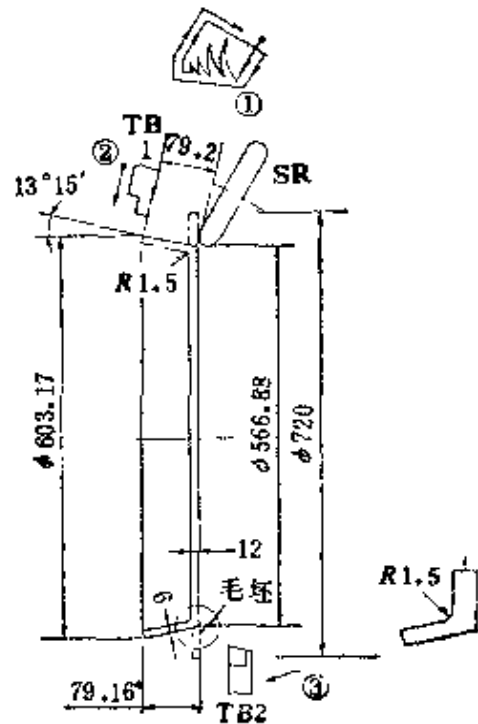
巧妙地进行了旋压成形。将 SR1 前伸进行附图所示①→①的成形, 然后用 SR2 进行附图中②的成形, 同时切边。这时候要使用图示的反推辊 (支承辊) BR。用 SR3 调整形状如说明图③所示, 这时候也需要使用 BR。为此在装卡毛坯的时候, 在尾座一侧的花盘上按圆周分布装五个 BR, 以适应各项需要。最后用 CR 将说明图中③的形状进行卷边是容易的。制件的成形量确实很小, 成形并不困难, 但是模具是特殊的, 要配置支承辊。此外研究出符合要求的旋轮形状更是关键。此件就形状而言属于难成形件, 只能采用旋压成形。在有效的作动下其加工时间比较短。



### 【例24】

- |            |                                      |
|------------|--------------------------------------|
| (1) 制件名称   | 滚动轴承保持架                              |
| (2) 材料     | SPB2H(保持架用材,与SPH类似)                  |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 720 \times t 12.0$             |
| (4) 成形旋轮   | SR (A, D 220, R 15) 一个, TB1 和TB2 各一个 |
| (5) 毛坯转速   | 拉深旋压为 180 r/min, 切削等加工为 35 r/min     |
| (6) 旋轮进给速度 | 拉深旋压为 1.5 m/min, 切削和切边为 0.3 m/min    |
| (7) 加工时间   | 680 s, 其中拉深旋压为 110 s, 切削等加工为 570 s   |
| (8) 加工顺序   | ①SR·多道次拉深旋压→②TB1·切边→③TB2·仿形切削        |
| (9) 注意事项   | 这是大型圆锥滚柱轴承的保持架,                      |

直径大,拉深旋压时毛坯转速必须小。工件的半锥角是 $13^{\circ}15'$ ,若采用剪切旋压壁厚按正弦率计算为2.75mm则不符合要求,故采用拉深旋压。由于拉深比小,采用简单拉深旋压就行了。但是旋轮圆角半径为R15,相对凸缘宽度77mm较小,旋轮可能被压入厚坯里。将R15加大也许可用简单拉深旋压,但须变更旋轮柄。这样,尽管拉深比小但需采用多道次拉深旋压。侧壁厚度是9mm,其精度要求严(1%以内),所以旋压后使用TB2<sup>⊖</sup>和仿形装置进行仿形切削。此外,由于厚板和旋轮的缘故,拉深旋压后毛坯表面被拉伸造成端面不齐,故要用TB1<sup>⊖</sup>进行修切。对本实例中的旋压和切削的复合工艺要注意。

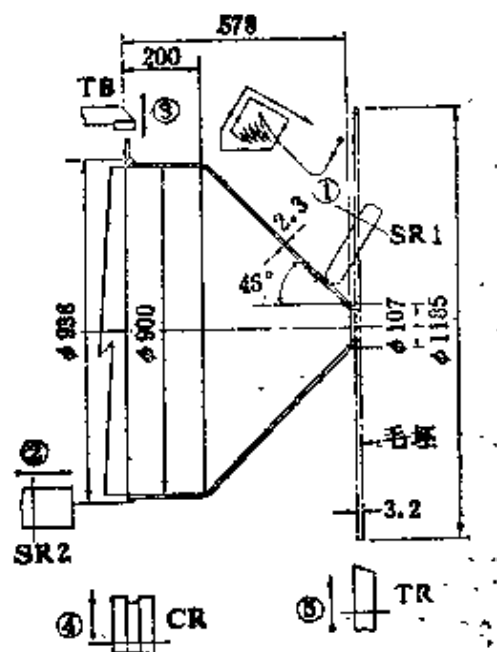


⊖ 原文误为TB1。  
⊖ 原文误为TB2。——译者注

## 【例25】

- |            |  |
|------------|--|
| (1) 制件名称   | 料斗   |
| (2) 材料     | SPCC   |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 1185 \times t 3.2$   |
| (4) 成形旋轮   | SR1 (A, D 200, R 10) 一个, SR2 (C, D 150, 平面旋轮) 一个, TB $\ominus$ , CR 和 TR 各一个 |
| (5) 毛坯转速   | 拉深旋压等为 200 r/min, 切边为 34 r/min   |
| (6) 旋轮进给速度 | 剪切旋压为 0.2 m/min, 拉深旋压为 1 m/min   |
| (7) 加工时间   | 11.5 min   |
| (8) 加工顺序   | ①SR1·剪切旋压后拉深旋压→②SR2·凸缘成形→③TB·切边→④CR·卷边→⑤TR·切底                                |

(9) 注意事项 半锥角为  $46^\circ$  的圆锥部分按  $3.2 \times \sin 46^\circ = 2.3 \text{ mm}$ , 反之要求壁厚为 2.3 mm 时按  $2.3 + \sin 46^\circ$  则板坯厚度要定为 3.2 mm。圆筒部分通过对 3.2 mm 厚的板进行多道次拉深旋压是容易成形的, 但是成形中这部分板材会加厚, 应注意道次循环以使其壁厚适当。如果减薄不顺利而在外周产生材料堆积, 则以后的卷边也不能很好地进行, 而且切边也费时间。用平面旋轮形成小凸缘后, 用切边刀 TB 切齐, 再用卷边轮 CR 卷边。从整个尺寸可以看到卷边半径相当大。最后用切边轮 TR 切去底部便完成了料斗的制作。



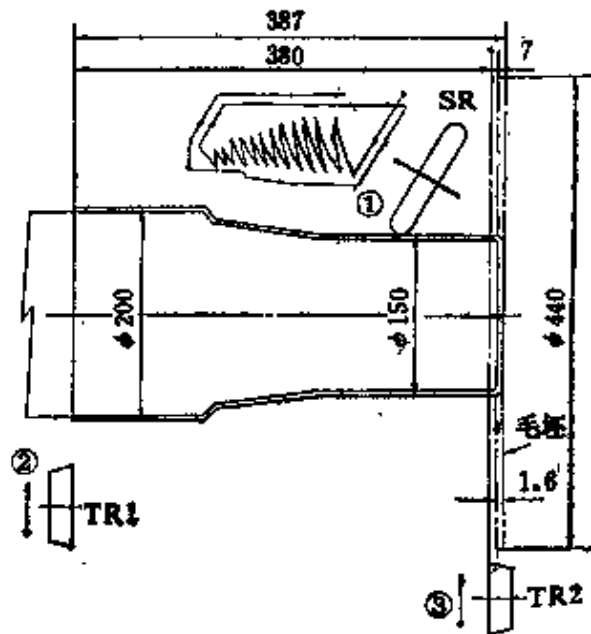
$\ominus$  原文误为 BR。——译者注

## 【例26】

- |            |  |
|------------|--|
| (1) 制件名称   | 喷管套  |
| (2) 材料     | SPCD                                       |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 440 \times t 1.6$                    |
| (4) 成形旋轮   | SR (A, D140, R10) 一个, BR 一个, TR1 和 TR2 各一个 |
| (5) 毛坯转速   | 600 r/min (拉深旋压)                           |
| (6) 旋轮进给速度 | 多道次拉深旋压为 2.6 m/min, 精整为 0.85 m/min         |
| (7) 加工时间   | 4.5 min                                    |
| (8) 加工顺序   | ①SR·多道次拉深旋压→②TR1·切边→③TR2·切底                |
| (9) 注意事项   | 这是用板材旋制很深的制件的实例。                           |

对壁厚没有硬性规定, 这有利于旋压成形。在道次程序的编制上要注意到容易导致壁部开裂的问题。在多道次的过程中不要使旋轮每次都移动到毛坯的外缘, 大致是每隔一次就让旋轮在中途停止而转移到下一道次。由于成形较为强烈, 在残余应力和表面粗糙度等方面都

可能出现问题。由于制件长, 可以推测到拉深旋压的次数要超过 30 次。如果使用黄铜, 就要加热芯模才能成形。用切割轮 TR2 切除底部, 形成两端头都被切除的长制件。这样, 从芯模上取下来比较困难, 顶料装置就略微复杂而需要下功夫。



## 【例27】

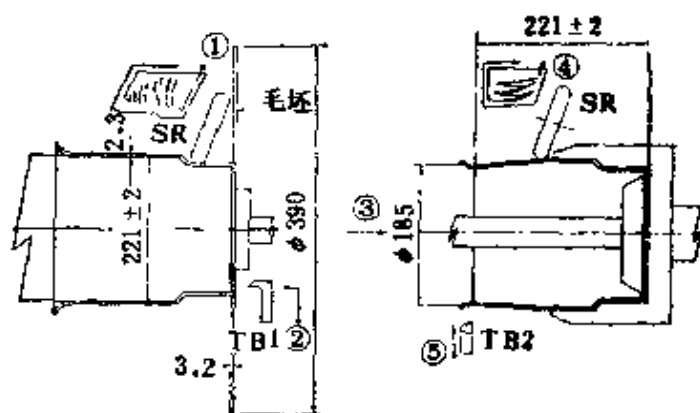
- |            |   |
|------------|---|
| (1) 制件名称   | 喷管套   |
| (2) 材料     | SPCC  |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 390 \times t 3.2$                       |
| (4) 成形旋轮   | SR (A, D160, R10) 一个, TB1, TB2 和 BR 各一个       |
| (5) 毛坯转速   | 拉深旋压为 600 r/min, 切边为 300 r/min                |
| (6) 旋轮进给速度 | 拉深旋压为 2.3m/min, 精整为 0.6 m/min                 |
| (7) 加工时间   | 4 min   |
| (8) 加工顺序   | ①SR·多道次拉深旋压→②TB1·切割→③移动毛坯→④SR·多道次拉深旋压→⑤TB2·切边 |

## (9) 注意事项

这是用板材进行多道次拉深旋压制造拉深比将近 2 的圆筒形制件。成形初期使用反推辊 (BR) 能有效地缩短成形时间。

因为是喷管, 可以用

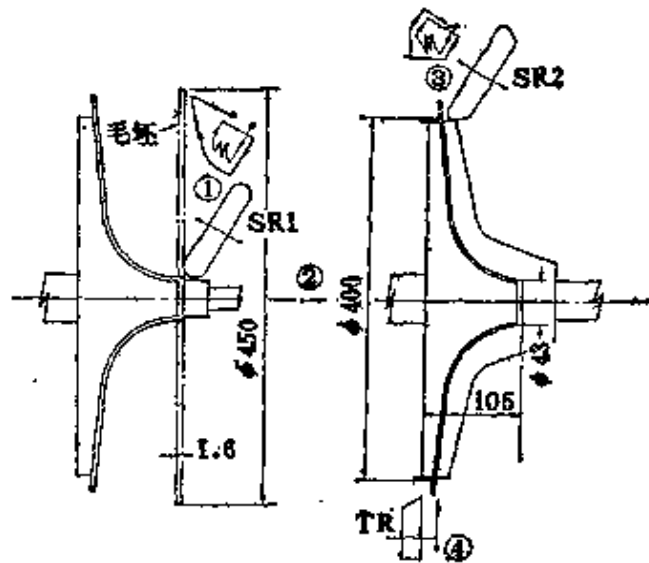
TB1 在底部开出一个孔, 将顶杆从主轴那头通过来以支承芯模并顶住尾顶支承模, 以便进行成形。用同一个旋轮 (SR) 对圆筒部分进行多道次拉深旋压, 同时进行缩口。这是悬空成形, 没有芯模或支承辊。旋轮进给速度采用 0.6 m/min 的慢速是合理的。如果  $\phi 185$  的尺寸精度要求严格就需用偏心模之类的模具, 但该件的允许偏差超过  $\pm 0.5\text{mm}$ , 故采用悬空拉深旋压。这样的夹紧方式是否经济还不清楚。此外对切割时切屑的排除给予了充分的注意, 使用断屑槽使其落入床身里。



## 【例28】

- |            |   |
|------------|---|
| (1) 制件名称   | 椅子的底座   |
| (2) 材料     | SPCC  |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 450 \times t 1.6$                         |
| (4) 成形旋轮   | SR1 (A, D160, R10)一个, SR2 (C, 尺寸不明)一个, TR和BR各一个 |
| (5) 毛坯转速   | 拉深旋压为1200 r/min, 切边为600 r/min                   |
| (6) 旋轮进给速度 | 拉深旋压为1.3m/min, 精整为0.4m/min                      |
| (7) 加工时间   | 100 s   |
| (8) 加工顺序   | ①SR1·多道次拉深旋压→②更换尾顶块→③SR2·拉深旋压→TR·切边             |
| (9) 注意事项   | 第一阶段先用多道次拉深旋压成形                                 |

本体的放射形部分, 然后降低旋轮的进给速度, 仿效芯模完成精整。这道工序不太困难。如果接着就在同样的条件下进行第二阶段的平行部分的拉深旋压, 则成形完了的半制品会产生回弹而使形状变得不稳定。因此要在尾顶上配置另外的压块, 在第一

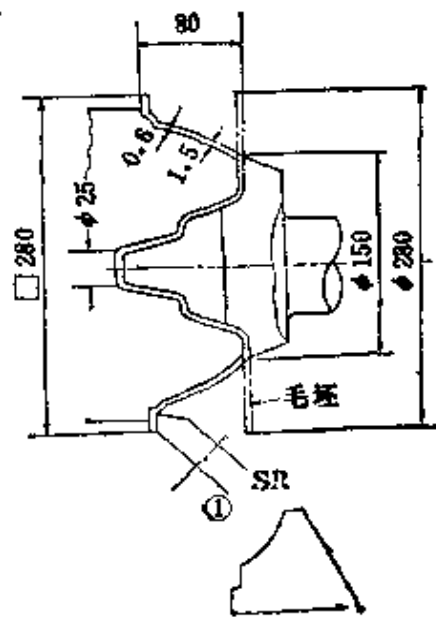


阶段成形完了后卡紧大直径部分, 对外周进行多道次成形。这种工艺设计可以在卧式旋压机上用来成形大封头等旋压件。椅子底座的直径为 387 mm, 高为 140 mm, 属于较深的产品的实例。这样的成形不仅适于普通冷轧钢板 (SPCC), 也适于 SUS304 不锈钢板。当然还有不象本例要重新夹紧的应用例子。精整时旋轮的进给一般都取慢速。

## 【例29】

- (1) 制件名称 火锅 (第二道工序)
- (2) 材料 SUS304
- (3) 毛坯尺寸  $280 \times 280 \times t 2.0$  (方板, 第一道工序  
见例 33)
- (4) 成形旋轮 SR (B,  $D 160$ ,  $R 6$ ) 一个 (用冲压  
切边)
- (5) 毛坯转速  $960 \text{ r/min}$
- (6) 旋轮进给比  $0.2 \text{ mm/r}$
- (7) 加工时间  $30 \text{ s}$
- (8) 加工顺序 ①SR·剪切旋压→②冲切周边
- (9) 注意事项 在经第一道工序 (参见例 33) 成形过的

毛坯上对直立的凸缘部分进行剪切旋压。使用方板是因为在冲切的时候要留下锅的把手。成形这样深的制件时通常是不容易产生方向性的。切边方法与圆板的不同。壁厚给定为 1.5 和 0.6 mm, 这正好是对原板坯厚度能按正弦律成形出要求的锥度的合适厚度。在这种场合最好是工艺人员与设计人员能密切配合。锅底厚度定为 2 mm, 用冲压成形这种锅是非常困难的。侧壁厚度定为 1.5 和 0.6 mm, 这与其说是为了满足强度的要求, 莫如说是满足使用性能要求的理想厚度。除了不锈钢外, 即使用铝或铜等材料大体上也不必变更成形条件。不锈钢按这种变形程度成形不会带磁性。这是一道次中成形出复杂形状的恰当实例。

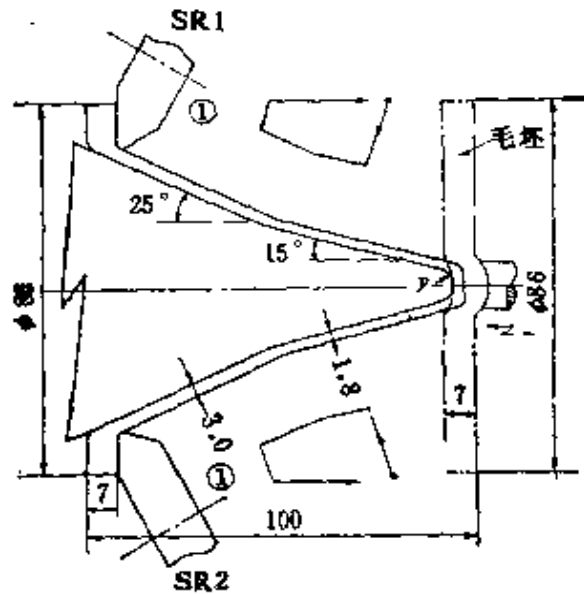


## 【例30】

- (1) 制件名称 阶梯形圆锥件  
 (2) 材料 铜  
 (3) 毛坯尺寸  $\phi 86 \times t 7.0$   
 (4) 成形旋轮 SR (B, D140, R 4) 二个对置  
 (5) 毛坯转速 1200 r/min  
 (6) 旋轮进给比 0.15 mm/r  
 (7) 加工时间 1 min  
 (8) 加工顺序 ①SR·对置的两个旋轮同时进行剪切旋压

(9) 注意事项 指定  $t_1 = 1.8\text{mm}$ 、 $t_2 = 3.0\text{mm}$  以及  $\alpha_1 = 15^\circ$ 、 $\alpha_2 = 25^\circ$ ，这就决定了  $t_0 = 7\text{mm}$ 。在这种情况下遵循正弦

律进行剪切旋压使成形较为容易。此件既不太粗也不太长，但是板坯较厚。由于旋压力加大而采用两个对置的旋轮以保持旋压力的平衡，并谋求制件的精度和成形的稳定。如果成形中的毛坯转速始终不变，则会产生圆周速度差，而使表面粗糙度变得不均匀。如果使圆周速度为常



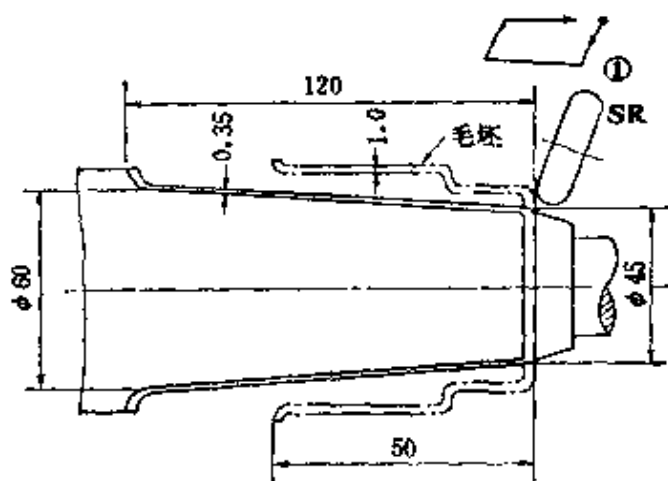
值则粗糙度就会均匀。这里是使两个旋轮在行进中有先后（错距）。其错距量和表面粗糙度的降低程度无可奉告。由于很难进行周边支承，故事先在端头压出带有圆弧  $r$  的鼓包，然后用尾顶块压紧。此外还可以参照例 4 的毛坯定位方法。由于成形热会引起间隙变化，所以使用油性切削液进行冷却。制件的表面质量也很好。



## 【例31】

- |           |   |
|-----------|---|
| (1) 制件名称  | 花瓶  |
| (2) 材料    | SUS304  |
| (3) 毛坯尺寸  | $\phi 60 \times t 1.0 \times$ 深 50 (阶梯形冲压预制件) |
| (4) 成形旋轮  | SR (B, D160, R6) 一个                           |
| (5) 毛坯转速  | 800 r/mim                                     |
| (6) 旋轮进给比 | 0.3mm/r                                       |
| (7) 加工时间  | 45 s  |
| (8) 加工顺序  | ①SR·变薄旋压                                      |
| (9) 注意事项  | 对冲压预制件进行变薄旋压。预制件为                             |

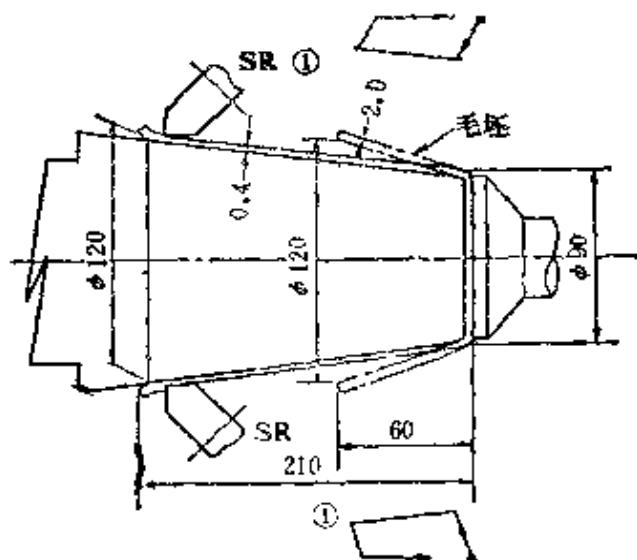
阶梯形圆筒。如果它已经过了 2~3 道工序成形, 则因冲压时的残余应力等影响而容易破裂, 故最好在旋压前进行退火。这样在成形后还往往产生时效裂纹, 需要加以防止。冲压成形最



好是一道工序。有人认为如果用旋压拉深也几乎不破裂。也有人认为这样对 SUS304 不锈钢成形会使其产生磁性, 因而不适宜。对于采用变薄旋压进行一道次成形其问题在于预制件的形状和深度。这在很大程度上要依靠经验, 并且大体上按体积不变的条件进行计算。由于壁厚没有很严格地给定, 因而在这方面没有问题, 但在预成形件的角部会留下少许的冲压痕迹。再者, 壁厚是 0.35mm, 所以用板材进行变薄旋压是办不到的。

## 【例32】

- (1) 制件名称 壶
- (2) 材料 SUS304
- (3) 毛坯尺寸  $\phi 120 \times$  约  $t 2.0 \times$  深 60 (冲压预制件)
- (4) 成形旋轮 SR (B,  $D 160, R 4$ ) 二个
- (5) 毛坯转速  $840 \text{ r/min}$
- (6) 旋轮进给比  $0.2 \text{ mm/r}$
- (7) 加工时间 80 s
- (8) 加工顺序 ①SR · 二个旋轮对置, 同时进行剪切旋压
- (9) 注意事项 这是对冲压预制件的剪切旋压。虽然是一次成形, 但是旋轮进给比小因而较费工时。冲压预成形是用一道工序进行的, 所以不经退火就能旋压。由于拉伸比不大故采用由厚板进行拉深后再进行变薄旋压的方案。使用两个对置的旋轮并加 2mm 的错距。旋轮顶端的圆角半径必须比预冲压件的厚度 2 mm 更大。如果圆角半径小则旋轮容易咬入毛坯壁部。圆角半径  $R$  可大致取  $2.5 \sim 6 \text{ mm}$  为好。通过调整预制件可以保证一定的制件直径。如果再剪切旋压 2 ~ 3 次使壁厚进一步减薄, 则材料会流向旋轮后面, 使工件在尾顶外周鼓出来而得不到正常的形状。此外如果壁厚变得很薄例如达到  $0.25 \text{ mm}$  以下, 则由于传递动力的关系工件容易扭曲。在旋压过程中给工件一个附加的拉力就能够避免扭曲现象。此外, 使用水溶性润滑剂工件就不会带磁性。

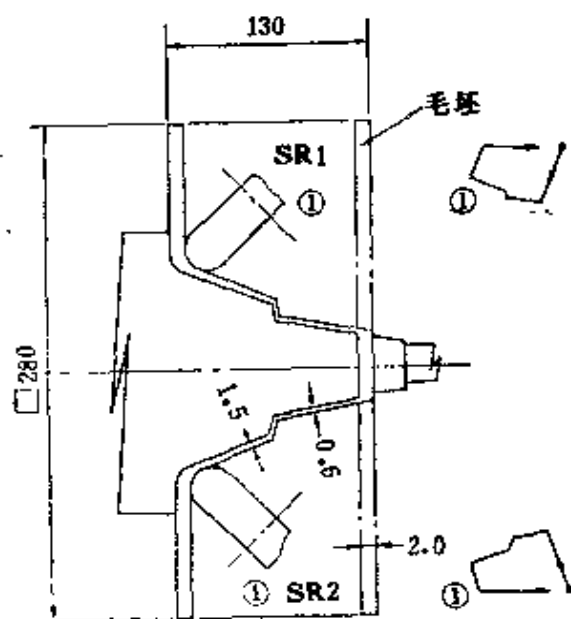


## 【例33】

- (1) 制件名称 火锅 (第一道工序)
- (2) 材料 SUS304
- (3) 毛坯尺寸  $280 \times 280 \times t 2.0$  (方板)
- (4) 成形旋轮 SR1 (C, D140, R4, R60) 一个, SR2 (C, D140, R6, R60) 一个
- (5) 毛坯转速  $900 \text{ r/min}$
- (6) 旋轮进给比  $1.2 \text{ mm/r}$
- (7) 加工时间  $30 \text{ s}$
- (8) 加工顺序 ①SR1 和 SR2 对置同时以一道工序成形

(9) 注意事项 本例作为例 29 之前的工序,为后面的工

序提供预制坯件。SR2 先行剪切旋压, SR1 以  $10 \sim 15 \text{ mm}$  的错距量随后进给。SR1 的圆角半径小,以进行表面精整为主。这样在旋压过程中二个旋轮的作用不同,但因芯模由主轴支承故二轮旋压力不平衡也是可以的。需要注意的是如果改变 SR1 的安装角,则材料的轴向延伸就会变化。要严格按正弦律规定 SR1 的间隙,

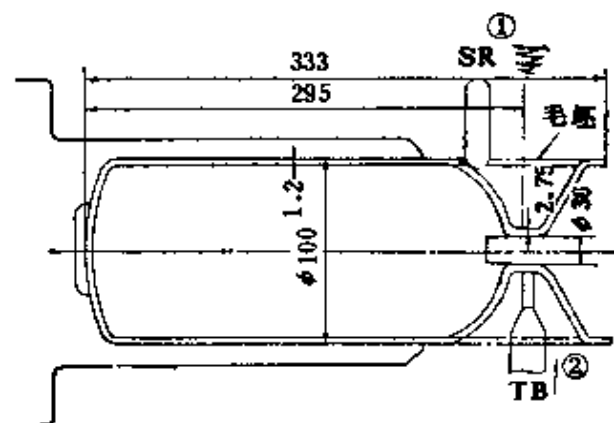


而 SR2 的间隙则稍大一些为好。对 SR1 和 SR2 分别相继采用了  $R60$  大圆角半径以及  $R4$  与  $R6$  小圆角半径的旋轮。采用  $R60$  的旋轮是考虑到与凸缘部分的圆滑接触,使凸缘在成形后能够直立。采用  $R4$  及  $R6$  的旋轮进行剪切旋压,这在例 32 中有近似的说明。

## 【例34】

- (1) 制件名称 压力容器
- (2) 材料 SPCE
- (3) 毛坯尺寸  $\phi 100 \times t 1.2 \times L 333$  (冲压预制件)
- (4) 成形旋轮 SR (A, D160, R8) 一个, TB 一个
- (5) 毛坯转速 旋压为  $1200 \text{ r/min}$ , 切割为  $600 \text{ r/min}$
- (6) 旋轮进给比  $1.0 \text{ mm/r}$
- (7) 加工时间  $73 \text{ s}$
- (8) 加工顺序 ①SR·旋压收口→②TB·切割
- (9) 注意事项 注

意坯件的支承方式。拉深的口部在成形后还要车制螺纹, 故要求尺寸精度和厚度( $2.75 \text{ mm}$ )。把  $\phi 100$  缩为  $\phi 30$ , 其成形量相当大, 需要  $18 \sim 20$  个往复道次。道次一少成形时就

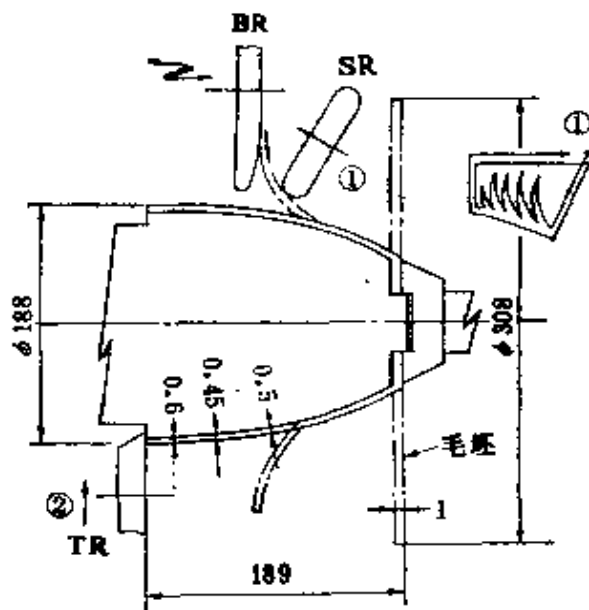


会开裂, 尤其不能单向拉深旋压。收口部分的心棒是从尾顶那边插入的, 切下的残余部分就当作废料被废弃。在例 16 的管端成形中是采用单向加热拉深旋压, 而本例则是将管的一部分收径, 收径部分比坯件厚。这种成形方法也很受重视, 它无需加热, 当然也无需退火。旋压区内壁厚的变化受旋压长度的影响, 而且还受旋压进给比和压下间距的影响

## 【例35】

- |           |                                   |
|-----------|-----------------------------------|
| (1) 制件名称  | 照明器具                              |
| (2) 材料    | SPCC                              |
| (3) 毛坯尺寸  | $\phi 308 \times t 1.0$           |
| (4) 成形旋轮  | SR (A, D140, R 7) 一个, TR 和 BR 各一个 |
| (5) 毛坯转速  | 1200 r/min                        |
| (6) 旋轮进给比 | 1.5mm/r                           |
| (7) 加工时间  | 2 min                             |
| (8) 加工顺序  | ①SR·多道次拉深旋压→②TR·切边                |
| (9) 注意事项  | 这是中等大小的照明器具, 对表面精整                |

要求严格。旋轮圆角半径经多次改变, 考虑到表面粗糙度最后确定为  $R 7$ 。精整时旋轮的进给比要小于上述值, 要慢慢地进给。壁厚的变化大致如图所示, 但这不是规定值而是成形后的测量值。成形后的工件有一些回弹, 直径很难达到规定的 188 mm。可以事先作一些拉

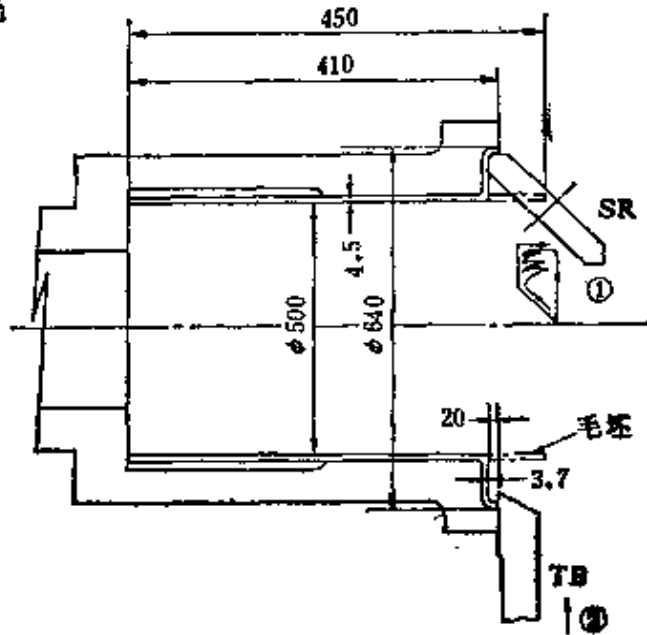


深旋压试验求出回弹量, 再由芯模的尺寸上加以补偿。拉深旋压时使用反推辊 (BR) 以防起皱。但旋制铝质照明器具时不使用反推辊, 以免弄伤材料, 一旦需要时则使用软质的反推辊。

## 【例36】

- |           |   |
|-----------|---|
| (1) 制件名称  | 锅炉筒体  |
| (2) 材料    | SPHC  |
| (3) 毛坯尺寸  | $\phi 500 \times t 4.5 \times L 450$ (筒形毛坯) |
| (4) 成形旋轮  | SR (C, D 160, R 6) 一个, TB 一个                |
| (5) 毛坯转速  | 45 r/min                                    |
| (6) 旋轮进给比 | 0.6 mm/r                                    |
| (7) 加工时间  | 145 s                                       |
| (8) 加工顺序  | ①SR·多道次旋压→②TB·切边                            |
| (9) 注意事项  | 毛   |

还是厚 4.5mm 的大直径圆筒。薄件一般容易成形，而这是厚件的成形实例，值得参考。焊接宜采用埋弧焊。对焊接件扩口时焊区可能开裂，应注意多道次旋压的间距和旋轮进给比。规定以 0.6mm/r 的慢速进给。管端的成形比较容易。焊接后磨平焊缝

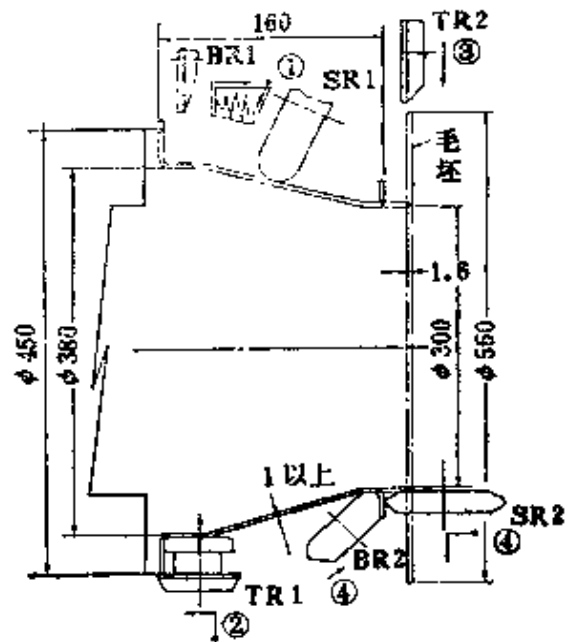


可以减少成形的废品率。成形后的凸缘厚度为 3.7mm。一般情况下电焊管的扩径率是 10~15%，而该件的扩径率比较大，达到 28%。扩管率超过 30% 后成形就很困难。

## 【例37】

- (1) 制件名称 套管
- (2) 材料 SPCC
- (3) 毛坯尺寸  $\phi 500 \times t 1.6$
- (4) 成形旋轮 SR1(A,  $D 175, R 20$ )一个, TR 二个, BR 二个, SR2 (C,  $D 140, R 1.5$ ) 翻边旋轮一个
- (5) 毛坯转速 拉深旋压为  $950 \text{ r/min}$ , 精整为  $700 \text{ r/min}$ , 切边为  $250 \text{ r/min}$
- (6) 旋轮进给比 拉深旋压为  $2.0 \text{ mm/r}$ , 精整为  $1.0 \text{ mm/r}$
- (7) 加工时间  $4.25 \text{ min}$
- (8) 加工顺序 ①SR1·多道次拉深旋压→②TR1·切边→③TR2·切底→④SR2·翻边

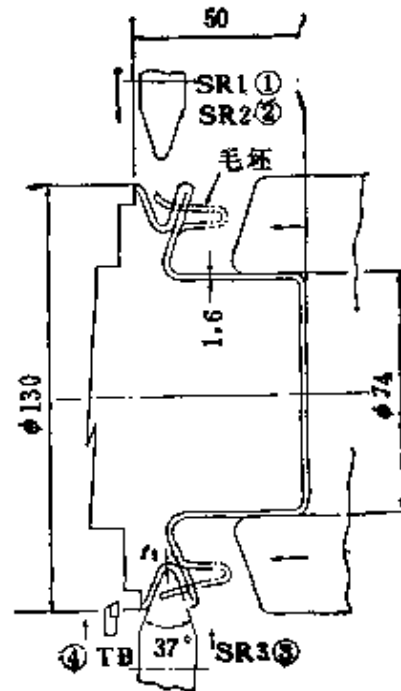
(9) 注意事项 虽然加工过程比较复杂, 但是采用了专用旋压机使这些过程全部自动化, 在装卡板坯后就能顺利而连续地进行加工。为了能一次装卡并以一道工序完成加工而想了许多办法。要求成形后的壁厚超过  $1 \text{ mm}$ , 故不可能采用剪切旋压 (壁厚将只有  $0.7 \text{ mm}$  左右), 为此采用多道次拉深旋压。在加工工件的端部时采用如图所示的特殊切割轮 TR1, 它能准确地精整拐角, 同时进行凸缘切边。用 TR2 切底之后用翻边旋轮成形另一端的凸缘。这时候要用反推辊从另一面顶住。这种制件需要烤漆, 故成形中要注意降低表面粗糙度并注意不使表面留有伤痕。



## 【例38】

- (1) 制件名称 板料皮带轮
- (2) 材料 SPCE
- (3) 毛坯尺寸  $t$  1.6 (冲压预制件)
- (4) 成形旋轮 SP1 (C,  $D$  120,  $R$  15) 一个, SR2 (C,  $D$  120,  $R$  8) 一个, SR3 (C,  $D$  120,  $R$  2) 一个, TB一个
- (5) 毛坯转速 370 r/min
- (6) 旋轮进给比 1.5mm/r
- (7) 加工时间 16 s
- (8) 加工顺序 ① SR1 · 压下 → ② SR2 · 压下 → ③ SR3 · 压下 (依次旋压凹槽) → ④ TB · 切边
- (9) 注意事项 事先冲压成形出如图所示的形状, 然后

一面用装在尾座上的顶块将弯下的形状竖起来一面用三个旋轮依次成形。由于V形槽底的厚度 $t_1$ 容易减薄但又要求它不小于1.2mm, 所以掌握成形的时间很重要。旋轮的压下速度和尾顶的移动速度及其时间的调整决定着成形的成败。采用上述方法进行调整可以满足日本工业标准(JIS)规定的壁厚及其他尺寸精度, 因此它已是一种通用的方法。这种方法在减轻结构重量方面引人注目, 此外它也是对冲压件进行旋压的一个复合成形的特殊的例子。通过回转成形能得到很光洁的表面。





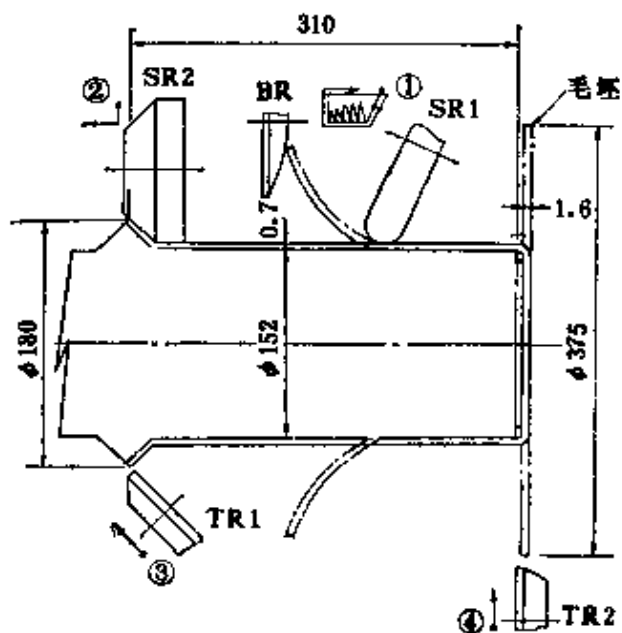
## 【例39】

- (1) 制件名称 壳体 (用于炉的浇口)
- (2) 材料 SPCC
- (3) 毛坯尺寸  $\phi 375 \times t 1.6$
- (4) 成形旋轮 SR1 (A,  $D 180, R 4$ ) 一个, SR2 (C, 定形旋轮) 一个, TR1、TR2 及 BR 各一个
- (5) 毛坯转速 拉深旋压为  $1000 \text{ r/min}$ , 切割为  $500 \text{ r/min}$
- (6) 旋轮进给比  $2.0 \text{ mm/r}$
- (7) 加工时间 205 s
- (8) 加工顺序 ① SR1 · 拉深旋压 → ② SR2 · 凸缘成形 → ③ TR1 · 切边 → ④ TR2 · 切底

## (9) 注意事项

拉深比很大 (2.46), 冲压很困难, 采用旋压比较有利。成形时使用反推辊 (BR) 以防起皱。壁厚能够通过道次的安排进行控制。在芯模的圆角处成形时应该特别注意。为了

按规定尺寸成形出左端凸缘的角部, 采用与角部形状一致的定形旋轮 SR2 进行成形。用 TR1 切边时将会切下环状的余料, 因此要对开截断, 余料的处理有时也成问题。由于用 TR2 把底切掉了, 如果制件与芯模贴合很紧就会使卸件产生困难。可以在精整时令旋轮沿圆筒面移动, 使少量材料流到圆周方向, 就会使卸件变得容易。此外, 旋轮的直径及进给比小则效果好。

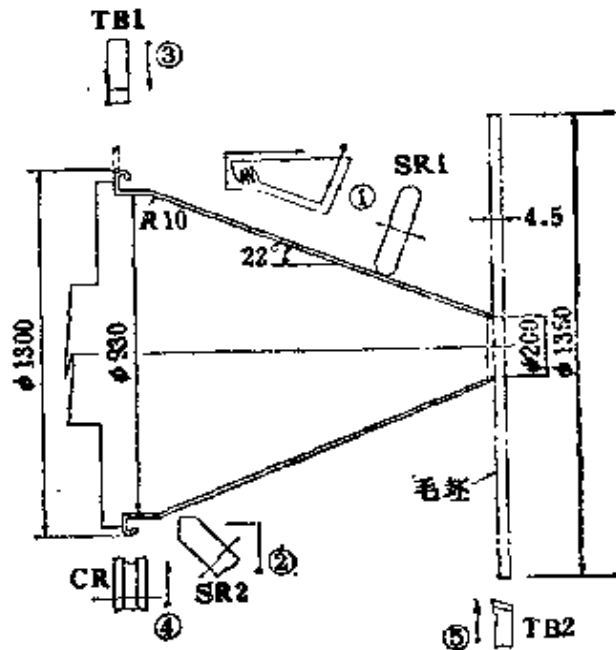


## 【例40】

- (1) 制品名称 容器 (一种漏斗)
- (2) 材料 SPCC (也有铝和不锈钢的)
- (3) 毛坯尺寸  $\phi 1350 \times t 4.5$
- (4) 成形旋轮 SR1 (A,  $D 200$ ,  $R 20$ ) 一个, SR2 (C,  $D 200$ ,  $R 10$ ) 一个, TB1、TB2 和 CR 各一个
- (5) 毛坯转速  $130 \text{ r/min}$
- (6) 旋轮进给比  $2.0 \text{ mm/r}$
- (7) 加工时间  $20 \text{ min}$
- (8) 加工顺序 ①SR1·剪切旋压再多道次拉深旋压→②SR2·角部定形→③TB1·切边→④CR·卷边→TB2·切底
- (9) 注意事项 圆锥壁部的倾斜角为  $22^\circ$ , 壁厚需要

$1.7 \text{ mm}$ 左右, 这就决定了板坯厚度为  $4.5 \text{ mm}$ 。当制品的直径大、周速大时可能失去平衡, 必须注意操作安全。虽然可以用  $20 \text{ m/s}$  的周速, 但是该例用了  $10 \text{ m/s}$ 。SR2是角部定形旋轮, 它沿轴向对工件有一定的减薄作用, 同时成形出凸缘的角部, 使凸缘直立以方便随后的切边

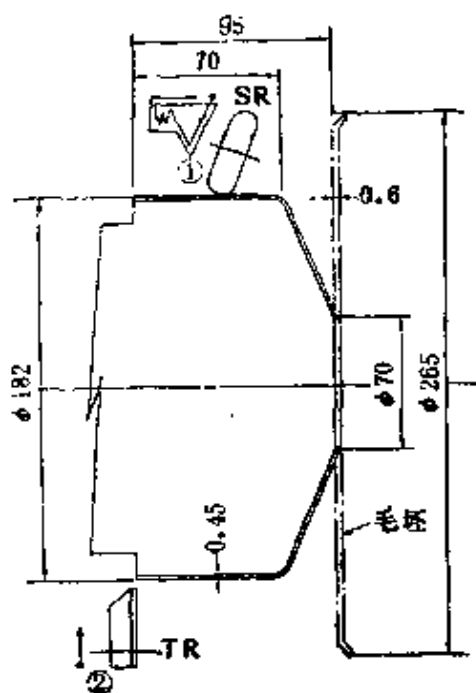
工序。如果卷边的圆弧直径过小而使旋压力过分增大, 材料就会产生塌腰, 所以规定以  $R 10$  为限。由于材料的方向性使工件口部形状不整齐, 则凸缘切边就很不方便。因此需要注意材料和拉深旋压的方法。此外, 安装切刀 (TB1) 时若使其倾斜  $3^\circ$  或  $4^\circ$ , 则切割面也是倾斜的, 这将给卷边带来方便。



## 【例41】

- (1) 制件名称 灯罩  
 (2) 材料 SPCC  
 (3) 毛坯尺寸  $\phi 265 \times 1.0.6$   
 (4) 成形旋轮 SR (A, D140, R7) 一个, TR 一个  
 (5) 毛坯转速 旋压为 900r/min, 切边为 450 r/min  
 (6) 旋轮进给比 1.5mm/r  
 (7) 加工时间 130 s  
 (8) 加工顺序 ①SR·剪切旋压后多道次拉深旋压→②TR·切边

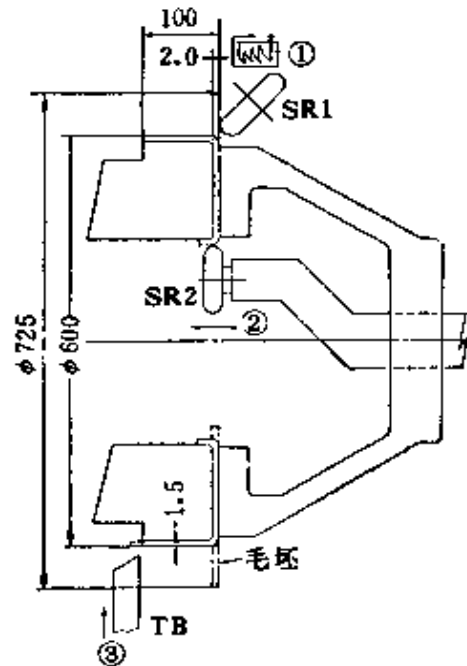
(9) 注意事项 在剪切旋压时毛坯的凸缘即使未受拉深有时也会起皱。这是由于旋轮进给比大的缘故。而减小进给比又会降低生产率。此外还考虑到拉深旋压, 故事先将板坯弯曲出凸缘以增加板材刚性, 然后用旋轮 (SR) 成形。板材越薄 (与板厚的平方成反比) 越容易起皱, 所以先弯边是很恰当的措施。多道次拉深旋压后再对圆筒部分加一次精旋。即使这样, 工件的回弹量还较大以至达不到  $\phi 182$  的规定尺寸。这种情况下应该事先估计回弹量, 然后把芯模修小一些。这是剪切旋压和拉深旋压组合的实例。在对工件的强度无要求, 并考虑到壁厚有减薄的情况下最好尽量采用剪切旋压。



## 【例42】

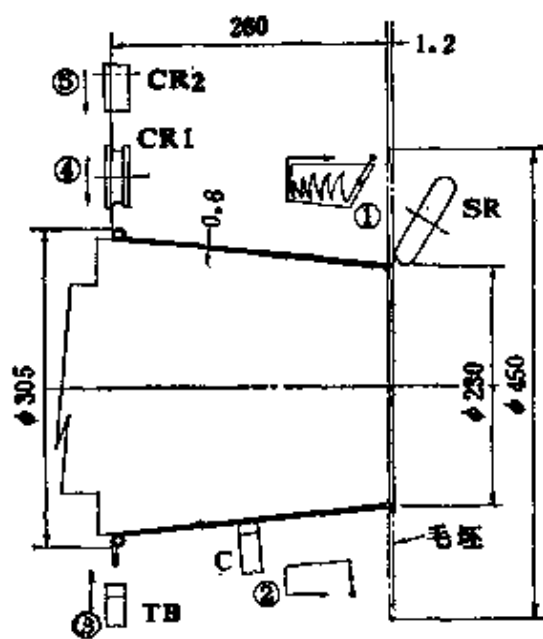
- (1) 制件名称 混凝土桩尾帽  
 (2) 材料 SPCC  
 (3) 毛坯尺寸  $\phi 725 \times t 2.0$  (开孔板)  
 (4) 成形旋轮 SR1 (A, D160, R6) 一个, SR2 (A, D80, R6) 一个, TB 一个  
 (5) 毛坯转速 外侧拉深旋压为 600 r/min, 内侧扩口为 400 r/min, 切边为 200 r/min  
 (6) 旋轮进给比 3.0mm/r  
 (7) 加工时间 50 s  
 (8) 加工顺序 ①SR1·多道次拉深旋压→②SR2·内侧扩口→③TB·切边

(9) 注意事项 事先准备好开孔的板坯, 并设法采用一次装卡即以一道工序成形。开孔板的压块设法装在尾顶一侧。因拉深比很小故用 SR1 进行多道次拉深旋压很容易, 用 2mm 的板厚确保 1.5 mm 的壁厚也不困难。为获得圆筒部分的尺寸  $\phi 600$ , 考虑到回弹量应将芯模的直径略微减小, 并可以朝开口端设一个小锥度。用旋轮 SR2 进行内侧扩口的成形量小, 从尾顶那边压紧旋轮, 使其只作轴向移动就能成形。这是混凝土桩头的一部分, 其直径从 150 到 600mm, 品种很多但产量不大, 表面粗糙度也不讲究。



## 【例43】

- |           |   |
|-----------|---|
| (1) 制件名称  | 食物桶   |
| (2) 材料    | 铝   |
| (3) 毛坯尺寸  | $\phi 450 \times t 1.2$   |
| (4) 成形旋轮  | SR (A, D130, R15) 一个, TB一个, C (硬质合金压头) 一个, CR 两个, 备用车刀一把  |
| (5) 毛坯转速  | 1400 r/min  |
| (6) 旋轮进给比 | 2.0mm/r   |
| (7) 加工时间  | 200 s   |
| (8) 加工顺序  | ①SR·多道次拉深旋压→②C·表面精整→③TB·切边→④CR1·卷边→⑤CR2·压扁  |
| (9) 注意事项  | 最好选用凸耳率能控制在3%以下的材料, 但进行多道次拉深旋压的时候方向性往往还是很明显, 因此毛坯的外缘除了必要留下的都应切除。在加工中用备用车刀切削出现了方向性的部分。多道次拉深旋压时可以采用保留毛坯边缘的方法, 也就是旋轮不行进到外缘就返回。用备用车刀切削时为避免切屑损伤铝制件的内表面就是采用这种方法。为了获得良好的表面质量, 采用硬质合金压头(C)进行表面精整。多道次拉深旋压后工件表面出现一些凹凸不平。如果将它们切平则表面反而会变坏, 因此采用圆弧形或平面形硬质合金压头进行精整, 并尽量加大接触宽度。为了增加桶的强度最后用平面旋轮将卷圆的边压扁。 |



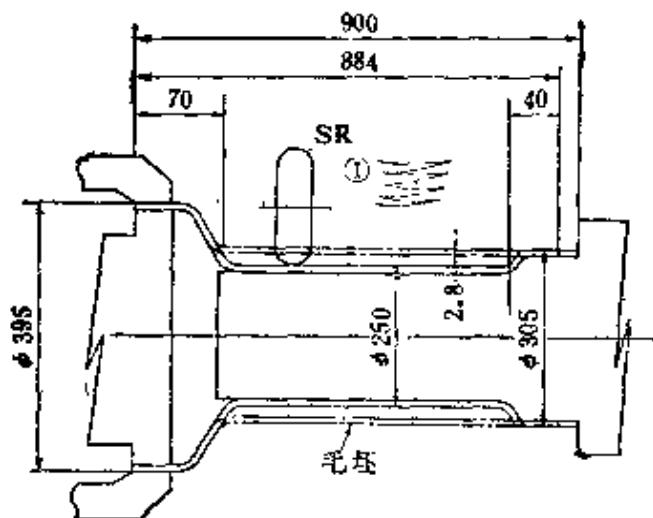
料, 但进行多道次拉深旋压的时候方向性往往还是很明显, 因此毛坯的外缘除了必要留下的都应切除。在加工中用备用车刀切削出现了方向性的部分。多道次拉深旋压时可以采用保留毛坯边缘的方法, 也就是旋轮不行进到外缘就返回。用备用车刀切削时为避免切屑损伤铝制件的内表面就是采用这种方法。为了获得良好的表面质量, 采用硬质合金压头(C)进行表面精整。多道次拉深旋压后工件表面出现一些凹凸不平。如果将它们切平则表面反而会变坏, 因此采用圆弧形或平面形硬质合金压头进行精整, 并尽量加大接触宽度。为了增加桶的强度最后用平面旋轮将卷圆的边压扁。

为了增加桶的强度最后用平面旋轮将卷圆的边压扁。

## 【例44】

- |           |                                      |
|-----------|--------------------------------------|
| (1) 制件名称  | 取暖设备 (锅炉中筒件)                         |
| (2) 材料    | SPHC                                 |
| (3) 毛坯尺寸  | $\phi 305 \times t 2.8 \times L 884$ |
| (4) 成形旋轮  | SR (A, $D 200$ , $R 15$ ) 一个         |
| (5) 毛坯转速  | 500 r/min                            |
| (6) 旋轮进给比 | 3.0mm/r (轴向速度)                       |
| (7) 加工时间  | 110 s                                |
| (8) 加工顺序  | ①SR·多道次拉深旋压 (旋压收颈)                   |
| (9) 注意事项  |                                      |

事先进行扩口, 将  $\phi 305$  扩成  $\phi 395$ 。夹紧扩口部分, 从尾顶那边插入芯模进行旋压收颈, 使旋轮(SR)沿轴向以 3.0mm/r 的速度往复 8 次。工件在壁厚几乎不变的情况下作轴向延伸。



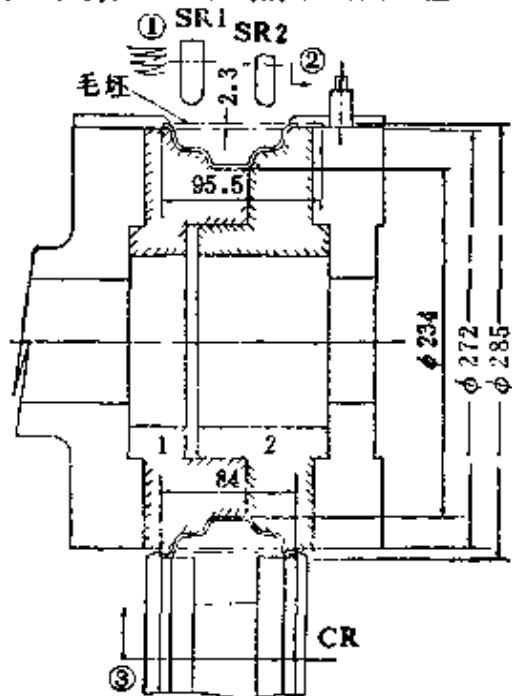
虽然壁厚/直径( $t_0/D$ )的值小, 但由于工件较长因而延伸量相当大。为此毛坯在尾顶那头不固定而能自由移动, 以便任其延伸。此件直径大, 壁部不容易增厚, 即使收颈也不会变厚。由于旋轮的压入而容易产生径向位移, 并在旋轮前面出现凹凸, 故必须注意选择模板的移动间距和旋轮的进给比。由于直径大, 必须使用焊接毛坯, 因焊接区与基体材料的延伸率不同, 使成形变得困难。

## 【例45】

- (1) 制件名称 汽车零件 (轮辋)
- (2) 材料 SPCC
- (3) 毛坯尺寸  $\phi 285 \times t 2.3 \times L 95.5$
- (4) 成形旋轮 SR1 (A, D130, R12) 一个, SR2 (A, D130, R5) 一个, CR 一个
- (5) 毛坯转速 290 r/min
- (6) 旋轮进给比 2.0mm/r
- (7) 加工时间 65 s
- (8) 加工顺序 ①SR1·拉深旋压 (多道次旋压 缩径) → ②SR2·拉深旋压 (与用SR1时不同) → ③CR·卷边

(9) 注意事项 这是汽车轮的轮辋, 尺寸、精度以及形状都按日本工业标准 (JIS) 的规定。要使圆弧形状和壁厚符合规格, 旋压起来是很困难的。将环形毛坯推压到主轴一侧的模具上, 并从尾顶一侧装上另一模具从而卡紧毛坯, 然后用旋轮 SR1 进行拉深旋压。拐角处的圆角

太小时壁部就会出现减薄现象。因此需用 SR2 对旋出的大致形状再成形 (角部定形)。芯模是由主轴一侧和尾顶一侧的两半模具拼合而成的。对毛坯端头采用图下方所示的卷边旋轮进行卷边。这种轮辋有各种形状, 如果用带状毛坯制造, 焊接区的成形就有问题, 所以往往采用冲压预制件。此法同样可用于铝轮, 这将在例53



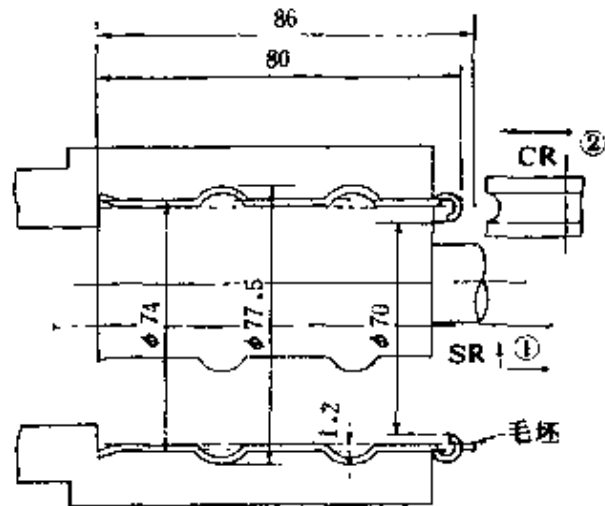
1. 主轴侧的模具 2. 尾顶侧的模具

和例 54 中说明。由此可知, 用旋压制造产品的方式比较灵活, 不象锻造、铸造或冲压那样具有固定的形式。

## 【例46】

- (1) 制件名称 汽车零件 (电缆接头套管)  
 (2) 材料 SPCC  
 (3) 毛坯尺寸  $\phi 74 \ominus \times t 1.2 \times L 80$   
 (4) 成形旋轮 SR (C, D50, 压筋旋轮) 一个, CR 一个  
 (5) 毛坯转速 1000 r/min  
 (6) 旋轮进给比 0.8mm/r  
 (7) 加工时间 25 s  
 (8) 加工顺序 ①SR·压筋→②CR·卷边  
 (9) 注意事项 该制件使用在所有轿车上, 数量多。主

要成形工作是在管体上压筋。压筋旋轮被支承在悬臂式轮柄上, 用于压紧工件。压筋时还可以同时成形左端的开口部分。毛坯的支承采取三向夹紧的方式, 这是为尽可能保持大量生产的体制而想出的办法。由于圆周长度很重



要, 因此应加强对毛坯尺寸的控制。筋的高度有限制, 据说是直径的百分之几。这是对原来采用冲压工艺的改进实例。最后从右边水平推压卷边旋轮 (CR), 对端部卷边。由本例的成形内容来推断, 对它采用旋压成形是比较简便的, 但若不经试验有许多例子就应用不了。本例为大量生产采取的措施是很重要的。

⊖ 原文误为  $\phi 7.4$ 。——译者注



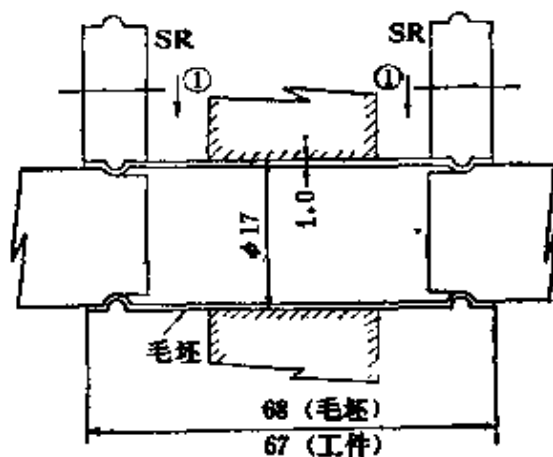
## 【例47】

- (1) 制件名称 汽车零件  
 (2) 材料 STKM-11A  
 (3) 毛坯尺寸  $\phi 17 \times t 1.0 \times L 67$   
 (4) 成形旋轮 SR (C, 压筋旋轮) 6个, 用旋轮从三个方向成形  
 (5) 毛坯转速  $1400 \text{ r/min}$   
 (6) 旋轮进给比  $0.7 \text{ mm/r}$   
 (7) 加工时间  $14 \text{ s}$  (包括工件的装卸)  
 (8) 加工顺序 ①SR·压筋, 用6个旋轮同时成形  
 (9) 注意事项 这是

在管子的两头从外朝里压筋的很简单的成形, 三个压筋旋轮

(SR) 装在车床卡盘的卡爪上作径向移动。夹紧管子的中间部分不使其滑转。夹紧后压筋旋轮绕管坯公转, 同时又自转。要使筋达到一定的高度就要重视旋轮的形状及其进给

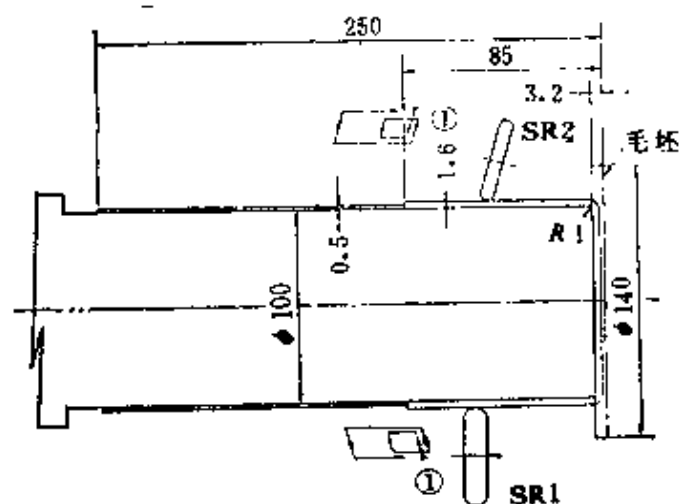
比, 不使筋的厚度过于减薄。毛坯转速高是为了在减小旋轮进给比的同时也能提高生产率。然而工件的装卸比成形还费时间, 因此在生产汽车零件这样的大批量件中, 作为旋压技术课题之一, 提出了研究合理而迅速地装卸工件的方法。管子的每一端用三个旋轮, 共计用六个旋轮同时对两端成形。



## 【例48】

- |           |   |
|-----------|---|
| (1) 制件名称  | 壳体  |
| (2) 材料    | SPCC  |
| (3) 毛坯尺寸  | $\phi 140 \times t 3.2$                                       |
| (4) 成形旋轮  | SR1 (A, $D 160$ , $R 6$ ) 一个, SR2<br>(B, $D 160$ , $R 3$ ) 一个 |
| (5) 毛坯转速  | 800 r/min   |
| (6) 旋轮进给比 | 第一道次为 $1.5\text{mm/r}$ , 第二道次为<br>$1.0\text{mm/r}$            |
| (7) 加工时间  | 70 s  |
| (8) 加工顺序  | ①SR1 和 SR2 同时进行拉深旋压和筒<br>形变薄旋压                                |
| (9) 注意事项  | 此件的拉深比大且芯模的圆角半径小  |

(1mm), 采用传统的冲压成形是很困难的。因此采用两个旋轮, 同时并用拉深旋压和筒形变薄旋压。第一道次拉深出 85mm 高的圆筒, 同时使厚度  $t$  从 3.2mm 减薄到 1.6mm。这



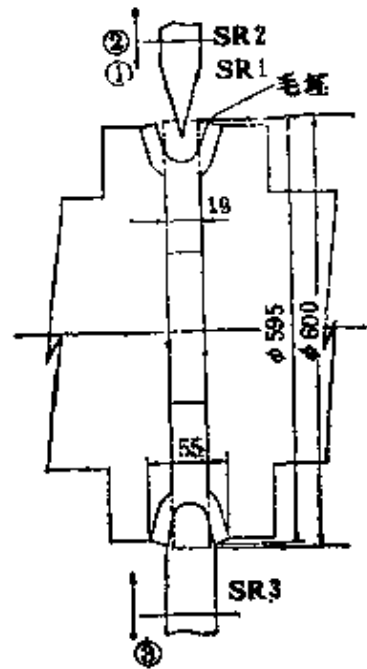
样做是考虑到一开始就连续拉深并减薄到所需厚度 (0.5mm) 的困难性。看来 SR1 和 SR2 是为了达到减薄和拉深这两个目的设置的。第二道次使用模板, 在调节间隙后使壁厚从 1.6mm 减薄到 0.5mm, 并旋出 250mm 的高度, 从而结束成形。关于旋轮圆角半径的选定和 SR2 必须倾斜地安装的确切理由还不太清楚, 大概是在调整间隙的时候对旋轮形状也进行了认真的研究。

## 【例49】

- (1) 制作名称 滑轮  
 (2) 材料 SS41  
 (3) 毛坯尺寸  $\phi 595 \times t 19$   
 (4) 成形旋轮 SR1 (C, D220, R2) 一个, SR2 (C, D220, R5) 一个, SR3 (C, D220 $\ominus$ , R10) 一个  
 (5) 毛坯转速 220 r/min  
 (6) 旋轮进给比 使用 SR1 时为 0.2mm/r, 使用 SR2 时为 1.2mm/r, 使用 SR3 时为 0.1mm/r  
 (7) 加工时间 5min  
 (8) 加工顺序 ①SR1·压入→②SR2·压入→③SR3·压入精整

(9) 注意事项 这是代替铸件的方案。将厚圆板两面支承，由周缘分劈使制成滑轮。SR1 压入时如不十分谨慎就会偏离中线。而出现偏离时就会失去平衡，进而产生横向错动，这一点必须予以注意。使用第三个旋轮 (SR3) 时，由于圆周速度差的不同而容易产生剥离，必须注意加润滑油。SR3 还兼作精整旋轮，所以当其形状变化时需采取相应的措施，也许要改变毛坯的转速。总之，应使滑轮槽表面光整。这种成形

方法能形成表面加工硬化层而达到强化和耐磨损的目的，但它需要很大的成形力。本例为 10t。另一方面，成形力对旋轮进给比变化的反应很敏感，如果减小进给比成形力就会显著减小。



⊖ 原文误为 D22。——译者注

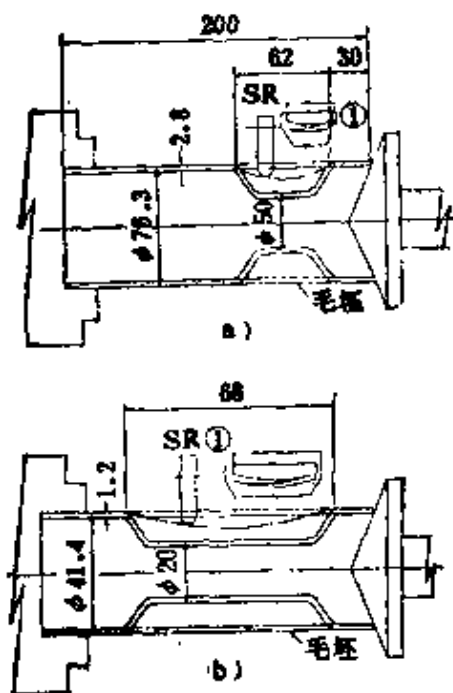
## 【例50】

- |           |  |
|-----------|--|
| (1) 制件名称  | 消音器                                      |
| (2) 材料    | STKM38                                   |
| (3) 毛坯尺寸  | $\phi 76 \times t 2.8 \times L 200$ (管材) |
| (4) 成形旋轮  | SR(A, D 120, R 7) 一个                     |
| (5) 毛坯转速  | 590 r/min                                |
| (6) 旋轮进给比 | 0.3 mm/r                                 |
| (7) 加工时间  | 3 min                                    |
| (8) 加工顺序  | ①SR·多道次拉深旋压, 旋轮往复6次                      |
| (9) 注意事项  | 对这种管材进行旋压收颈是比较容易                         |

的, 使用旧车床也能够成形。最好同时由尾顶加压, 因管材受压后容易收缩。如果只使旋轮作横向进给则焊缝容易产生龟裂。所以要适当调节旋轮的压下量, 并使旋轮作纵向移动。要减小成形部分的椭圆度旋轮进给比就不能选得太大。实践表明, 如要将椭圆度控制在0.02 mm以下, 则旋轮进给比最好不超过0.3 mm/r。这种消音器常用在汽车上。

图 b 所示的也是类似的产品。

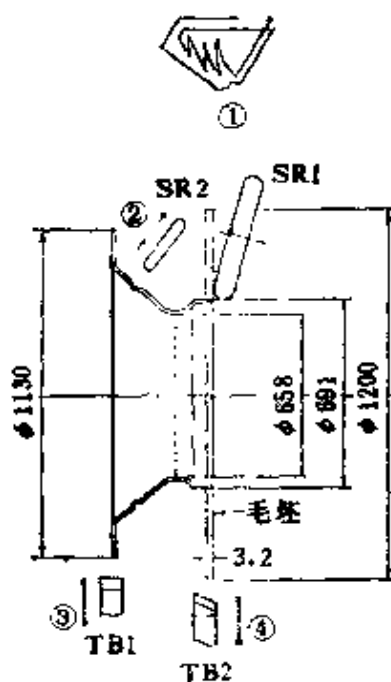
由于直径较小故毛坯转速采用900 r/min, 但采用与上述相同的进给比, 以 50 s 完成成形。槽越宽则焊接区越容易产生龟裂。当限制了长度后旋轮圆角半径对壁厚的影响就减小。对于直径减小的极限目前还难于简单地表示出来。



## 【例51】

- (1) 制件名称 鼓风机的喇叭口
- (2) 材料 SPHC
- (3) 毛坯尺寸  $\phi 1200 \times t 3.2$  (开有  $\phi 500$  的口)
- (4) 成形旋轮 SR1(A,  $D 200, R 15$ ) 一个, SR2(A,  $D 140, R 6$ ) 一个, TB1 和 TB2 各一个
- (5) 毛坯转速 旋压为  $200 \text{ r/min}$ , 车削为  $40 \text{ r/min}$
- (6) 旋轮进给速度 多道次拉深旋压为  $1 \text{ m/min}$ , 精整为  $0.2 \text{ m/min}$
- (7) 加工时间  $11.5 \text{ min}$
- (8) 加工顺序 ①SR1·多道次拉深旋压→②SR2·压筋  
→③TB1·切削→④TB2·切割

(9) 注意事项 这是用一道工序制造带缩颈喇叭口的实例。板坯上开有  $\phi 500$  的口, 由拼合模支承, 在尾顶一侧的大芯模上进行整体成形。颈部是在拼合模上成形的。如果不注意多道次拉深旋压的道次安排, 则颈部的壁厚就会过度减薄。应注意减薄量不能超过板坯厚度的一半, 并使  $\phi 1130$  的法兰部分达到较高的平面度。用 SR2 对喇叭口的本体进行压筋, 即仿 SR2 的圆角半径  $R 6$  压出凹筋, 以此提高喇叭口的强度。润滑剂只在开始成形时需要涂覆, 成形过程中就不必要了。此外, 也有不用拼合模而在工件内外用两个对置的旋轮进行成形的。



## 【例52】

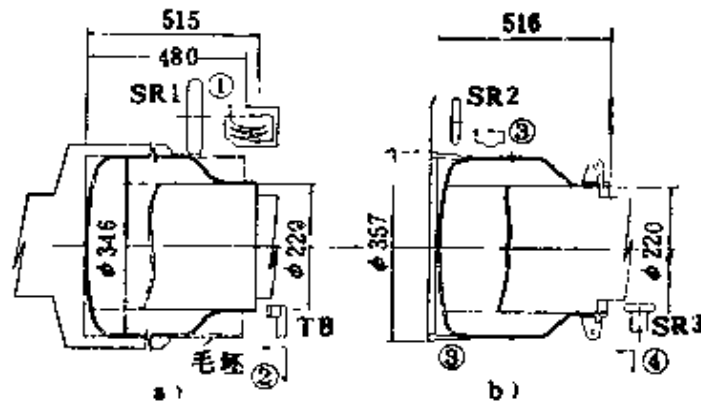
- (1) 制件名称 牛奶桶
- (2) 材料 A 1100-O
- (3) 毛坯尺寸  $\phi 346 \times$  深 480 (冲压预制件)
- (4) 成形旋轮 SR1(A,  $D 140$ ,  $R 10$ ) 一个, TB一个, SR2(A,  $D 140$ ,  $R 5$ ) 一个, SR3(C) 一个
- (5) 毛坯转速 600 r/min
- (6) 旋轮进给速度 多道次拉深旋压为 1.5 m/min, 精整为 0.5 m/min, 使用 SR2 时为 0.5 m/min, 使用 SR3 时为 0.4 m/min
- (7) 加工时间 2.5 min (收口), 1 min (敛紧桶托和卷边)

## (8) 加工顺序

- ① SR1·多道次拉深旋压 → ② TB·切削  
 → ③ 改变毛坯的夹持  
 → ④ SR2·敛紧桶托  
 → ⑤ SR3·卷边

## (9) 注意事项

这原是苏联的牛奶桶。旋压收口并不困难但要求表面光整。毛坯是用板材经再拉深的冲压预制件。采用支承模从外侧压住预制件, 并从尾顶一侧装入带圆柱段的压紧模轴向压紧, 以进行收口。切边后取下支承模, 利用压紧模装上桶托, 并且用 SR2 将其敛紧。接着将铸造的铝手把装在口部, 用 SR3 卷边将手把固定。为使固定的手把不松动, 应注意 SR1 成形口部时的直径精度并设法使口部稍带一点锥度。用 SR3 进行轴向卷边比较困难, 口径小的时候更需注意。



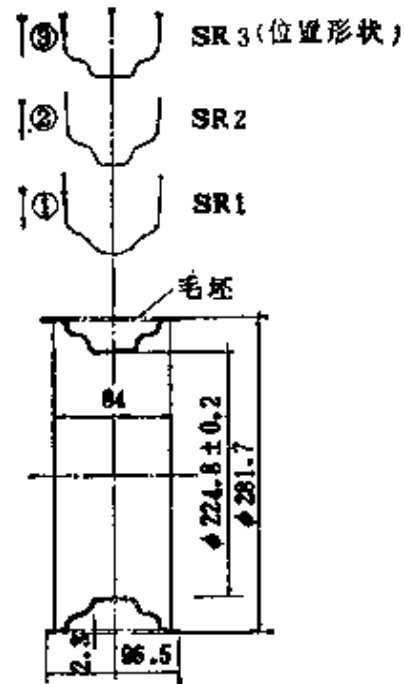
## 【例58】

- |            |   |
|------------|---|
| (1) 制件名称   | 小型摩托车用轮辋  |
| (2) 材料     | SPCC  |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 281.7 \times t 2.3 \times$ 宽 96.5 (环形坯)                   |
| (4) 成形旋轮   | SR1(C, D140, 附图) 一个, SR2 (C, D140, 附图) 一个, SR3 (C, D140, 附图) 一个 |
| (5) 毛坯转速   | 300 r/min   |
| (6) 旋轮进给速度 | 1.2 m/min   |
| (7) 加工时间   | 15 s  |
| (8) 加工顺序   | ①SR1·径向移动拉深成形→②SR2·径向移动拉深成形→③SR3·精整                             |
| (9) 注意事项   | 采用与例[45]一样的毛坯装卡方法,  |

从使用 SR1 开始依次进行拉深成形。工件壁厚的变化取决于旋轮的形状, 因此要使 SR1 与 SR2 配合对变形程度进行若干试验。直径最小的地方最容易变薄

(最薄为 1.8mm), 可是中间的平坦部分没有增厚的倾向。可以认为旋轮形状的影响比旋轮进给速度的影响还大。用 SR1 和 SR2 成形时虽然不从横向强制加压, 但是用 SR3 成形最终形状时则能约束横向移动。成形中将最小直径控制到  $\phi 224.8 \pm 0.2$  并不困难。端面需要卷边, 但由其他工序进行。这里所举的

只是 10in $\ominus$  的轮辋实例, 而用旋压制造 8~12in 的轮辋实例还很多。



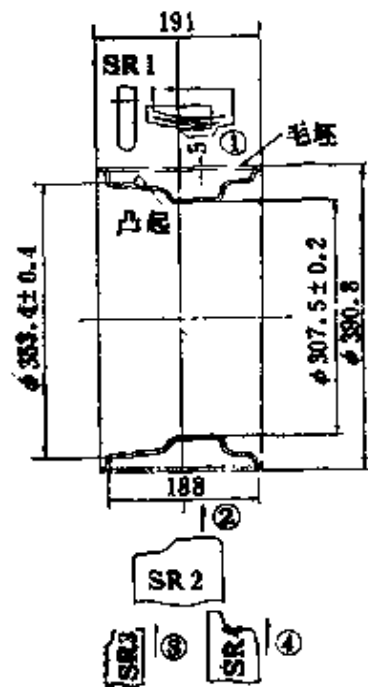
$\ominus$  1in = 0.0254m, 下同。——译者注

## 【例54】

- |            |  |
|------------|--|
| (1) 制件名称   | 铝合金双开轮辋  |
| (2) 材料     | A 5154-O   |
| (3) 毛坯尺寸   | $\phi 390.8 \times t 5.0 \times L 188$ (电阻对焊环形件)     |
| (4) 成形旋轮   | SR1(A, $D 200, R 15$ ) 一个, SR2(C)、SR3(C)和 SR4(C) 各一个 |
| (5) 毛坯转速   | 300 r/min  |
| (6) 旋轮进给速度 | 多道次拉深旋压为 2m/min, 各次精整为 0.4m/min                      |
| (7) 加工时间   | 2min   |
| (8) 加工顺序   | ① SR1·多道次拉深旋压 → ② SR2·径向拉深 → ③ SR3·径向拉深 → ④ SR4·径向拉深 |
| (9) 注意事项   | 坯环宽而厚, 需用 SR1 经多道次拉                                  |

深旋压慢慢拉深。坯材宽 188mm, 但因用 SR1 成形, 轴向产生若干延伸后能达到轮辋 191mm 宽度的要求。为了成形出拐角部分备有 SR3 和 SR4; 为了成形出最小直径  $307.5^{+0.2}$  备有 SR2。坯环里装有模具, 能够保证这个精度。这部分须与圆盘焊接, 因而公差很严。SR2、SR3 和 SR4 还要起消除 SR1 的成形痕迹的作用, 所以它们的组合形态很重要。这类组合构件忌讳旋轮的压痕。左边的圆弧形凸起处会增厚, 要注意周长、配合直径以至偏差。相反, 右边会

减薄到 4mm。这种形状的制件贴紧模具后很难脱卸, 所以要考虑拔模斜度。此外, 还要使用冷却液, 以免旋轮和模具因成形热而膨胀。制件的卷边和切边由别的工序进行。这种制件还有用  $\phi 353.4$  的材料进行成形的, 只需 45s 就能成形出来。



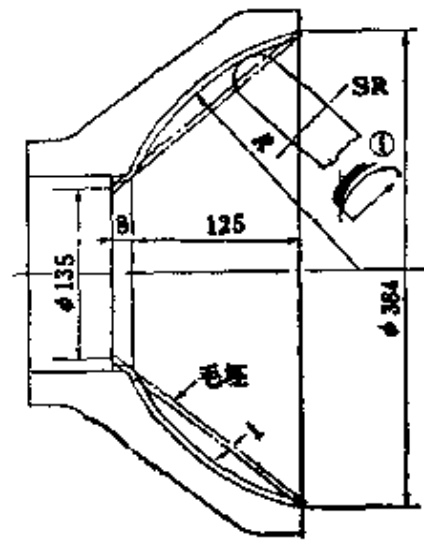


## 【例55】

- (1) 制件名称 飞机零件  
 (2) 材料 Hastelloy X 耐热合金  
 (3) 毛坯尺寸  $t 1.0$  的焊接圆锥台  
 (4) 成形旋轮 SR(A,  $D 130, R 20$ ) 一个  
 (5) 毛坯转速  $960 \text{ r/min}$   
 (6) 旋轮进给比  $0.5 \text{ mm/r}$   
 (7) 加工时间  $100 \text{ s}$   
 (8) 加工顺序 ①SR·多道次胀形  
 (9) 注意事项 Hastelloy X 是镍基耐热合金, 其屈服

强度为  $28 \text{ kgf/mm}^2$ 、抗拉强度为  $67 \text{ kgf/mm}^2$  以及延伸率  $29\%$ ,

可以说是比较容易旋压的材料。在飞机零件的制造中, 旋压工艺的应用在不断扩大, 所以这种实例是很有价值的。成形中应尽量做到不猛然加很大的拉伸力, 特别是这种焊接圆锥台预制件容易沿焊缝开裂, 就更应该做到这一点。成形时旋轮从毛坯大端开始贴着外模进行多道次胀形。还考虑过另一种方法, 即将毛坯装在芯模上, 旋轮在外面进

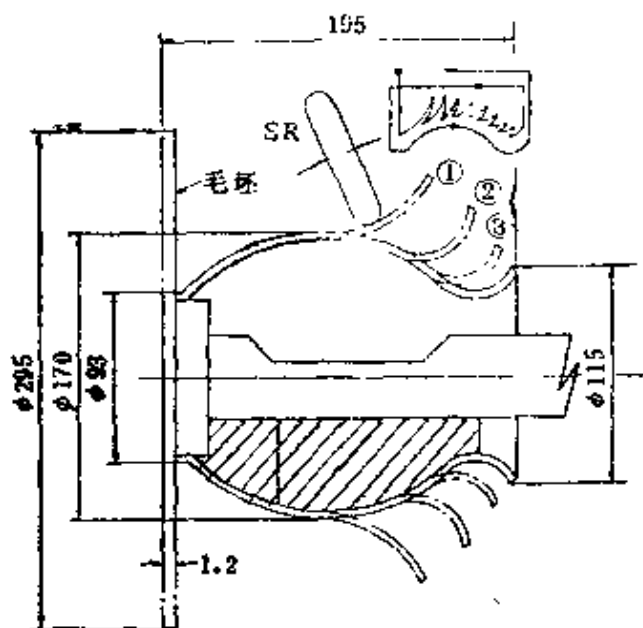


行拉深成形。但是对于 Hastelloy 这种材料应尽量减少道次, 所以选定了胀形方式。此外, 在成形前磨平焊缝是使壁厚均匀的重要辅助工序。

## 【例56】

- |           |                           |
|-----------|---------------------------|
| (1) 制件名称  | 花瓶                        |
| (2) 材料    | CuP                       |
| (3) 毛坯尺寸  | $\phi 295 \times t 1.2$   |
| (4) 成形旋轮  | SR(A, $D 90$ , $R 15$ )一个 |
| (5) 毛坯转速  | 478 r/min                 |
| (6) 旋轮进给比 | 0.5mm/r                   |
| (7) 加工时间  | 395 s                     |
| (8) 加工顺序  | ①SR·多道次拉深旋压, 需要三次中间退火     |
| (9) 注意事项  | 铜是难于旋压成形的材料。该件的坯料         |

是采用圆板, 但也可以采用冲压的筒形预制品。如果采用后者则只需在多道次拉深旋压前进行退火, 而不需要中间退火。本例是在图示①、②和③的位置进行中间退火。对于成形中使用局部式成形模值得注意。从尾顶一侧压紧带有轴承的固定板, 使毛坯固定在主轴一侧的花盘上, 因此多道次拉深旋压是在与通常情况相反的方向上进行的。打有斜线的部分是具有一定厚度的板状局部式成形模。成形时模具和板材之间有滑动。由板坯进行拉深时可以参考本例。此外还可以采用拼合模具并能得到光滑的内表面。这可以根据成形的要求加以选用。

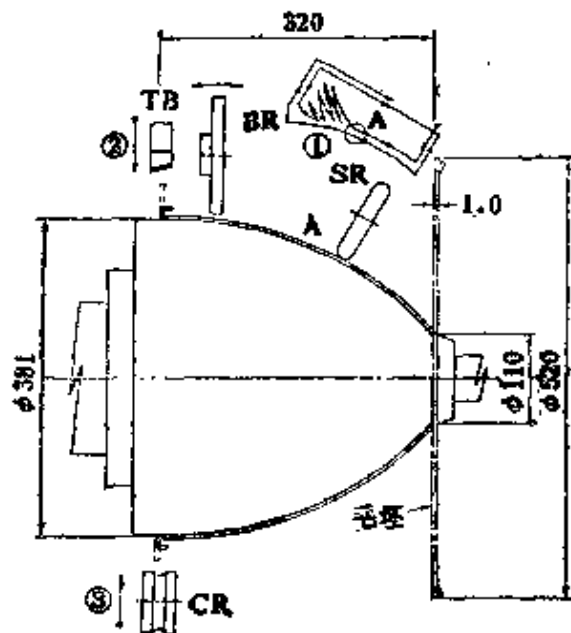


上, 因此多道次拉深旋压是在与通常情况相反的方向上进行的。打有斜线的部分是具有一定厚度的板状局部式成形模。成形时模具和板材之间有滑动。由板坯进行拉深时可以参考本例。此外还可以采用拼合模具并能得到光滑的内表面。这可以根据成形的要求加以选用。

## 【例57】

- (1) 制件名称 灯罩 (照明用具)
- (2) 材料 A 1080
- (3) 毛坯尺寸  $\phi 520$  (或  $\phi 540$ )  $\times t 1.2$ ⊙
- (4) 成形旋轮 SR(A, D 250, R 10) 塑料旋轮一个, TB、CR 及 BR 各一个
- (5) 毛坯转速 570 r/min
- (6) 旋轮进给比 1.0 mm/r
- (7) 加工时间 3 min
- (8) 加工顺序 ①SR·剪切旋压后进行多道次拉深旋压  
→②TB·切边→③CR·卷边
- (9) 注意事项 如图所示, 事先进行外缘弯边以提高刚性, 防止起皱。先用一道次剪切旋压一直成形到 A 点, 由于倾斜角不断减小, 以后就采用多道次拉深旋压。如果不注意两种旋压方法的过渡就会产生台肩。为了保持间隙的平衡应注意模板的形状, 使其沿着 A 点的切线圆滑地过渡。进入拉深旋压阶段时需用反推辊以防起皱。

照明器具的内表面精整很麻烦, 故成形时使用塑料旋轮。芯模是钢质的, 可以不经热处理也不需要镀层。使用钢质旋轮成形则芯模上容易产生凹凸。当芯模的寿命短时, 也有使用树脂芯模与铁质旋轮的例子。用带有  $15^\circ$  斜角的切刀切边, 这将给随后的卷边带来方便。



照明器具的内表面精整很麻烦, 故成形时使用塑料旋轮。芯模是钢质的, 可以不经热处理也不需要镀层。使用钢质旋轮成形则芯模上容易产生凹凸。当芯模的寿命短时, 也有使用树脂芯模与铁质旋轮的例子。用带有  $15^\circ$  斜角的切刀切边, 这将给随后的卷边带来方便。

⊙ 原文此处是  $t 1.2$ , 而图中毛坯厚度是 1.0。——译者注

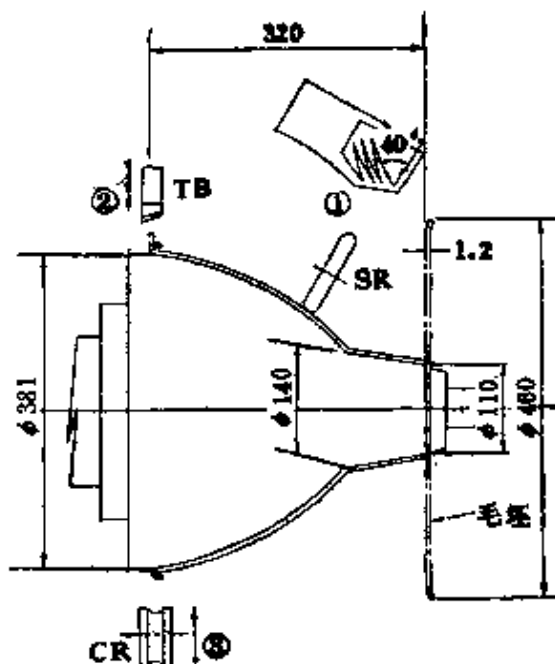
## 【例58】

- (1) 制件名称 灯罩 (照明用具)
- (2) 材料 A 1080
- (3) 毛坯尺寸  $\phi 460 \times t 1.2$
- (4) 成形旋轮 SR(A, D 250, R 10) 一个, TB 和 CR 各一个
- (5) 毛坯转速 540 r/min
- (6) 旋轮进给比 1.0 mm/r
- (7) 加工时间 140 s
- (8) 加工顺序 ①SR·多道次拉深旋压 → ②TB·切边 → ③CR·卷边
- (9) 注意事项 本例和上例虽属同种产品, 但是形状有些不同, 因此首先采用多道次拉深旋压, 然后再进行剪切旋压。事先进行外缘弯边是为了加大第一道次的成形量, 即把板坯压斜约  $40^\circ$ 。如果不弯边则只能压斜  $20^\circ \sim 30^\circ$ , 斜度再大成形时就会起皱。和上例一样也使用塑料旋轮, 由于有弹力而使板材可以与旋轮磨合良好。商品名称叫杜拉锥。模板作成可调的, 以便于调整间隙。此外, 在多道次拉深旋压时旋轮的往复道次都可以进行拉深成形, 不会起皱和开裂。切边时应使切刀 TB 倾斜  $15^\circ$ 。

些不同, 因此首先采用多道次拉深旋压, 然后再进行剪切旋压。事先进行外缘弯边是为了加大第一道次的成形量, 即把板坯压斜约  $40^\circ$ 。如果不弯边则只能压斜  $20^\circ \sim 30^\circ$ , 斜度再大成形时就会起皱。和上例一样也使用塑料旋轮, 由于有弹力而使板材可以与旋轮磨合良好。商品名称叫杜拉锥。模板作成可调的, 以便于调整间隙。

此外, 在多道次拉深旋压时旋轮的往复道次都可以进行拉深成形, 不会起皱和开裂。切边时应使切刀 TB 倾斜  $15^\circ$ 。

塑料旋轮容易磨损和产生热变形, 需要用切削修正其形状, 例如每天修正一次。

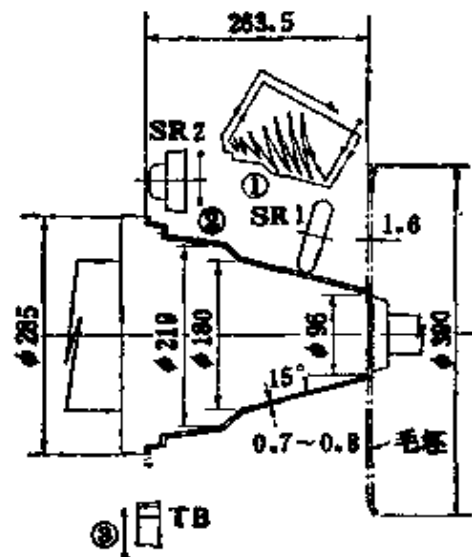


## 【例59】

- (1) 制件名称 聚光器
- (2) 材料 A 1000 P
- (3) 毛坯尺寸  $\phi 390 \times t 1.6$
- (4) 成形旋轮 SR1(A,  $D 250, R 10$ ) 一个, SR2一个, TB一个
- (5) 毛坯转速  $600 \text{ r/min}$
- (6) 旋轮进给比  $0.9 \text{ mm/r}$
- (7) 加工时间  $200 \text{ s}$
- (8) 加工顺序 ①SR1·多道次拉深旋压→②SR2·校形→③TB·切边
- (9) 注意事项 预先进行外缘弯边以提高板材的外缘刚性, 然后进行多道次拉深旋压。

如果回程进行拉深则起皱, 所以不在回程中成形而只在往程道次进行拉深成形。此外, 如果材料有各向异性则外周就会产生凸耳, 故在往程拉深时不让旋轮行进到外缘。据称不用备用车刀切削而用这种方法也有效。制件初成形的一段的倾斜角要求  $15^\circ$  左右, 而壁厚要求是  $0.7 \sim 0.8 \text{ mm}$ , 所以要用多道次拉深旋压

来确保这一壁厚。在润滑方面, 只在开始成形的时候注机油。模板的形状是以连接  $R 180$  和  $R 360$  的圆弧形为基本形, 采用摆动式模板。此外板坯上制有孔, 需注意在成形中孔会增大。



## 【例60】

- (1) 制件名称 反射器  
 (2) 材料 A 1080  
 (3) 毛坯尺寸  $\phi 215 \times l 1.0$   
 (4) 成形旋轮 SR1(C, D 140, R 8 和 R 90) 一个, C (硬质合金压头) 一个, SR2(C, D 140, R 3.5) 一个, SR3 一个, TB 和 TR 各一个  
 (5) 毛坯转速 用 SR1 成形时为 1000 r/min, 用 C 精整时为 700 r/min  
 (6) 旋轮进给比 0.5 mm/r  
 (7) 加工时间 3.5 min  
 (8) 加工顺序 ① SR1·多道次拉深旋压 → C·表面精整

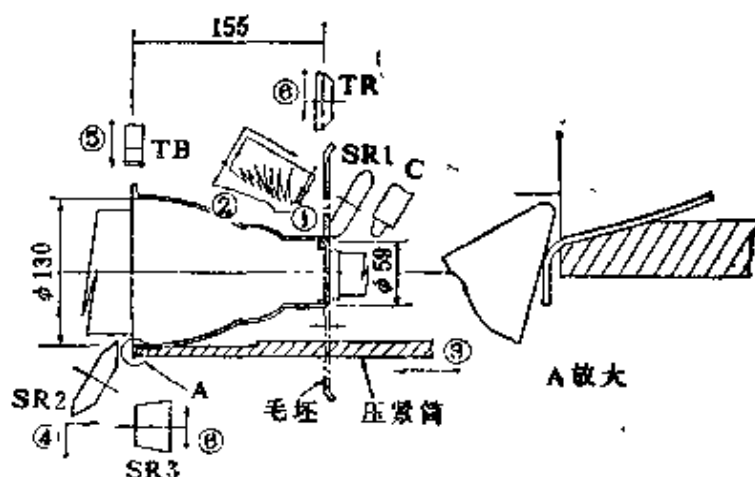
→ ③ 移动压紧筒 →

④ SR2·外缘弯边

→ ⑤ TB·切边 → ⑥

SR3·TR·修切

(9) 注意事项 这是用一块板材制成深的阶梯形制件的实例。因为是反射器故要求表



面光滑。采用多道次拉深旋压成形出阶梯形状，然后用硬质合金压头以小的进给比进行表面精整。压头上最好垫有聚氨酯橡胶，起缓冲作用。如 A 处的放大图所示，用 SR2 进行外弯边，需从尾顶一侧伸出的压紧筒进行支撑。应注意压紧筒与毛坯的接触情况。外缘弯边后使用塑料旋轮 SR3 推压着工件并用 TR 进行修切。此外拉深旋压时要对板坯弯边，用压头进行表面精整时最好加润滑剂。

## 第六章 旋压常用的材料及其性能

许多金属材料都适于旋压，普通塑性加工所用的材料都能为旋压所使用。对旋压实际使用的材料的调查结果载于表 6-1。由表可知，碳钢、铝和不锈钢所占的比例较大。本章所要阐述的就是这些使用率高的材料及其性能。

表6-1 旋压所用材料的调查结果

材料的种类	产品种数	百分比(%)
碳 钢	75	33.3
铝	56	24.9
不 锈 钢	52	23.1
铜	17	7.6
黄 铜	14	6.2
其 他①	11	4.9
合 计	225②	100.0

注：① 包括银、白铁皮、殷基铁、哈斯特洛伊镍基合金以及钛莫合金。

② 包括不同材料的同种旋压件。

### 6.1 铝及其合金板材

铝的比重约为铜和铁的三分之一。它可以减轻结构重量，用途很广，并且常用冲压和旋压成形。下面阐述的是用于旋压各种器皿、照明器具和车轮等的铝材。

#### 6.1.1 名称代号

铝质地软而富有延展性，但从有些应用来看需要改进性能，提高强度，为此制成了铝合金。不同的铝合金按其分类而给定代号。在日本工业标准（JIS）中使用 A 5052 P-H34、A 6063TE-T5 等加以表示。首位的字母 A 表示铝合金，随后的四位数字表

示合金的分类。其中第一位数字表示合金系统，形变铝合金的分类如表 6-2 所示；第三位和第四位数字表示合金的标定顺序；第二位数字表示对第三、四位数字标定的合金加以改进的派生合金。在四位数字后面附有 1~3 个罗马字，它们是毛坯的形状符号和尺寸容差的等级符号。连字符后面的 H 或冠有 T 的数字是表示材料的加工硬化状态或热处理状态等调整材质性能种类的符号，此外还使用 F、R 及 O 等字母。调整材质种类的符号将在 6.1.3 项中说明，形变合金的形状符号及其含义载于表 6-3。

表 6-2 铝合金的分类

形变合金	非热处理型合金	纯铝 (1000系)
		Al-Mn 系合金(3000系)
		Al-Si 系合金(4000系)
		Al-Mg 系合金(5000系)
	热处理型合金	Al-Cu-Mg系合金(2000系)
		Al-Mg-Si系合金(6000系)
		Al-Zn-Mg系合金(7000系)

表 6-3 JIS中表示坯料形状的符号

符 号	含 义	符 号	含 义
P	板	TE	挤压无缝管
PC	包层板	TD	拉制无缝管
P	圆 板	TW	焊 接 管
R <sup>①</sup>	带	S	型 材
RC	包层带	BD	佛 接 材
BE	挤压棒	FD	模 锻 材
BD	拉制棒	FH	自由锻材
W	丝		

① 原文为 P——译者注

### 6.1.2 一般的性能



铝合金的性能受添加元素的种类及其添加量的影响，因此应根据使用目的选择具有最佳性能的合金。

#### (1) 1000系合金

1000系表示工业纯铝，典型的有1100和1200，纯度都在99.00%以上。1100添加了微量的铜，经阳极化处理后光泽性好。1050、1070以及1080的纯度分别为99.50%、99.70%和99.80%以上，光泽性极好，旋压成形性也好，因而用作照明器具。

此系材料的加工性、耐蚀性和可焊性都好，故多用于照明器具、家庭用品、日用品和天线反射面等，但是强度低而不宜于作结构件。主要的杂质是铁和硅，减少这些杂质就能提高耐蚀性，改善阳极化后的光泽性。

#### (2) 2000系合金

这是硬铝和超硬铝，2017和2024是其中有代表性的两种合金，其强度比得上钢材，但是含有较多的铜而耐蚀性差。由于加工性不好，最好是采用温热加工或热加工。旋压成形方面，2017合金压力容器的收口就是其中的一例。

#### (3) 3000系合金

在铝中加有锰，既保持了纯铝的加工性和耐蚀性，又使强度有所提高。它们被用来制造各种器皿和容器。

#### (4) 4000系合金

铝中加有硅从而控制了热膨胀，改善了耐蚀性。还没有用于旋压的例子。

#### (5) 5000系合金

这是添加镁的铝-镁合金。镁添加得少的用于制造装饰品和器皿，添加得多的用于制造结构件。此系合金的种类多，用于旋压的制件也多。镁含量少的典型合金有5N01和5005等。镁含量中等的5052具有一定的强度，用于三构件轮辋车轮。镁含量多的5083是非热处理合金中强度最高、可焊性好的合金，因此通过旋压用来制造各种规格的封头。

#### (6) 6000系合金

这是热处理合金，通过适当的热处理后能提高强度和耐蚀性。旋压是在软质状态下进行的，成形的工件随着其后的淬火而产生应力变形，所以旋压实例少。

### (7) 7000系合金

此系合金分为两类，即 Al-Zn-Mg-Cu 系合金，在铝合金中它的强度最高；另一类是用于焊接件的不含铜 Al-Zn-Mg 系合金。7075 和 7178 是前一类中有代表性的合金，用于飞机零件和体育用品，通过旋压制造的棒球棒就是一例。后一类合金焊接后经自然时效的接头强度接近基体金属。这类合金还没有旋压成形的例子。

#### 6.1.3 调整材质

通过冷加工、淬火、回火以及退火等方法调整材料的强度、加工性以及其他性能，这叫做调整材质。铝合金的性能随调整材质种类的不同而有明显的变化，因此应该根据使用目的和加工方法选择适当的调整材质的方法。日本工业标准 (JIS) 中所规定的调整材质的方法及其符号载于表 6-4。H 表示改变材料的冷加工程度以调整其性能，*n* 用 2、4、6 和 8 等数字表示以说明加工硬化的程度。其中 8 表示硬料，4 表示介于软料 (O) 与硬料之间的半硬料，2 和 6 表示介于软料与半硬料之间、半硬料与硬料之间的加工硬化状态。T 表示对材料进行热处理以调整其性能，它只用于热处理合金。

#### 6.1.4 选用铝材的原则

选用旋压材料时需要对其强度、耐蚀性、装饰性以及成形性等各种性能进行综合的分析，但是很难满足所有的性能，可以根据用途确定性能的优先顺序来进行分析。

旋压制品多得随时可见，所以要讲究它的装饰性。铝合金的光泽和色调代表了它独具的装饰性。而涂亮漆的时候，它的光泽和色调又取决于铝板轧制的表面粗糙度和化学抛光等表面处理的情况。阳极化处理后的铝板的光泽和色调除上述因素外本身的铝纯度也有很大的影响。因此对于涂亮漆的制品最好使用 1050 和

表6-4 JIS规定的调整材质的符号

符号	定 义	
F	材料制出的原样	
R	热轧的原样	
O	经退火达到最软状态	
H	H11n	进行冷加工产生加工硬化
	H12n	加工硬化后进行适当的退火
	H3n	冷加工后又进行稳定化处理
T	T2	对铸件进行退火
	T3	淬火后进行冷加工
	T4	只经淬火就在常温下进行充分的时效硬化
	T5	经高温加工后进行急冷, 并进行退火处理
	T6	淬火后进行回火处理
	T8	淬火后进行冷加工, 然后进行回火处理

1100 铝, 而对于阳极化处理的制品宜用高纯度铝。作为色调来说, 为使其黑亮即有所谓的铬光泽, 板材使用有高纯度基体材料的 Al-Mg 系合金 (5N01系), 管材使用 Al-Mg-Si 系合金的改进型。

从强度、耐蚀性、成形性和焊接性等要求进行选材的一般原则拟由另著介绍, 而从旋压的成形性来说目前是依据冲压对材料要求的成形性能来判断的。

## 6.2 低碳钢板

### 6.2.1 钢板的种类及其制造方法

钢板的种类按其厚度通常分为厚板 (6 mm 以上)、中厚板 (3~6mm) 和薄板 (3 mm 以下) 等三种。在旋压成形中, 除了成形特殊规格的封头外一般都使用中厚板和薄板, 而且差不多都使用低碳钢 (软钢) 和不锈钢板。就制板工艺而言, 单用热轧能够

制出约 1.2mm 的低碳钢板和 2mm 左右的不锈钢板，更薄的板材则用冷轧和退火以及调质轧制来制造，其中不锈钢板多进行两次冷轧和退火。

要注意只进行热轧的热轧钢板和冷轧加退火的冷轧钢板有厚度及形状的差别，机械性能和售价也不同。适合旋压成汽车零件和家用电器的热轧和冷轧钢板有如表 6-5 和表 6-6 的主要品种。除此之外还有最近为汽车研制的高强度钢板，成形性良好，用量在不断增加。

表6-5 旋压使用的各种热轧钢板

标准	种类	代号	适应厚度(mm)
JIS G 3131-1967 热轧低碳钢板及钢带	1种	SPH C	1.0以上13以下
	2种	SPH D	1.2以上6以下
	3种	SPH E	1.2以上6以下
JIS G 3113 1970汽车结构用热轧钢板及钢带	1种	SAPH32	1.6以上6以下的钢板及钢带
	2种	SAPH38	1.6以上6以下的钢板及钢带
	3种	SAPH41	1.6以上6以下的钢带 1.6以上14以下的钢板
	4种	SAPH45	1.6以上14以下的钢板
JIS G 3101-1970普通结构用轧制钢板	1种	SS34	—
	2种	SS41	—
	3种	SS50	—
	4种	SS55	40以下

## 6.2.2 低碳钢板的金属性质和机械性能

### (1) 金属性质

按照炼钢过程中（熔化、铸锭以及板块凝固）所用脱氧方法的不同，低碳钢可大致分为沸腾钢和铝镇静钢，如表 6-7 所示。沸腾钢用碳脱氧，而镇静钢用铝脱氧。两种钢的差异在于碳、氧以及铝的含量。沸腾钢的氧及碳含量多，且其中的大部分是以非金属夹杂物存在。再者，沸腾钢的氮是不固定的，而铝镇静钢中

表6-6 旋压用各种冷轧钢板

种类	代号	特点
JIS冷轧钢板 及钢带(JIS- G 3141)	SPCC	普通用 这是表面美观而用量最多的品种, 是适于弯曲和简单拉深成形的钢板, 但主要用作平板
	SPCCT	拉深用 这种钢板具有优良的、仅次于SPCE的拉深性能
	SPCD	深拉深用 具有优良的、仅次于SPCEN的深拉深性能, 按冶金学调整了晶粒, 所以深拉深后能得到美观的表面
	SPCE	非时效性深拉深用 具有最好的深拉深性能, 特别是作为非时效性钢板保证不产生拉伸应变
JIS中没有规定, 但与JIS同等使用的冷轧钢板	SPLY, SPM-Y①(低屈服点钢板)	屈服点低, 屈服比小, 冲压成形性和张力刚性好
	SPUD①(超深拉深用钢板)	深拉深性能与JIS钢板同等或超过JIS钢板, 是各钢铁公司独自制造的
特殊冷轧钢板	搪瓷用钢板	最适于所有搪瓷制件的钢板
	耐腐蚀耐气候性低合金冷轧钢板	由于合金元素的作用而形成致密坚固的氧化膜, 能够有效地防止腐蚀的延续
	高强度冷轧钢板	具有较好的加工性能, 同时能提高拉伸的允许强度

① 新日本钢铁公司的标准。

的氮被铝固定了。所以两者相比, 沸腾钢的时效劣化现象(成形时拉伸应变和总延伸率低的现象)是难以避免的, 而铝镇静钢容易形成结晶集合组织并具有拉深成形中所希望的塑性各向异性。因此加工性能要求高的钢板(SPCD和SPCE等)应采用铝镇静钢板, 但是沸腾钢板的生产成本低和容易保持表面美观, 故现在还是用得更多。

除了上述的从成分上鉴别两种钢板的性能外, 还可以通过晶粒形成状态的比较从金相上进行鉴别。此外, 晶粒的大小可以用钢板的退火条件进行控制, 沸腾钢板更是容易大幅度地变化。特别是为了提高沸腾钢的成形性和搪瓷制品的加工性(如不易起

表6-7 沸腾钢板和铝镇静钢板化学成分的比较示例

化学成分 (%) 钢板种类	C	Si	Mn	P	S	Al	N	O
沸腾钢板	0.055	<0.01	0.30	0.015	0.013	<0.01	0.0025	0.029
铝镇静钢板	0.032	<0.01	0.29	0.013	0.011	0.035	0.0046	<0.01

泡), 对它进行脱碳退火, 制成晶粒较粗而质地很软的冷轧钢板。但如果晶粒过于粗化则可能降低旋压的成形极限。

下面对上述热轧钢板和冷轧钢板在金属性质上的差异作一归纳。热轧钢板的非金属夹杂物的形态呈拉长的带状, 与其他金属的结合不好, 因此与由晶粒形状和大小能观察到的各向异性相比, 使钢板有更大而潜在的各向异性, 致使垂直于轧制方向的延展性差。冷轧钢板可以通过退火缓和其内部各向异性。

两种钢板还有一个较大的差异就是表面状态的不同。冷轧钢板的表面由于冷轧和调质轧制的配合, 以无光精轧(梨皮面加工)和光亮精轧的形式加工得很精致。普通加工中所使用的热轧钢板, 其表面是对热轧时生成的氧化皮进行了酸洗的状态, 所以很粗糙, 不具有冷轧钢板的均匀状态。此外, 材料的内部缺陷和制造中的表面缺陷有时以表面发纹的形式出现。

钢板的表面特性对旋压成形的影响问题还没有弄清楚, 不过有的事例报告说是由于运输时造成的表面裂纹导致工件在拉深旋压中产生断裂。

## (2) 机械性能

表6-8归纳了典型热轧钢板和冷轧钢板的拉伸试验值。与附在表中供参考的各种铝板相比, 尽管钢板的强度是铝的二至四倍, 而总延伸率仍然超过了铝板。可以说这就是钢板的特点。此外, 从表中还可以看出 $r$ 值(兰克福特值)和 $n$ 值(加工硬化指数)也有差别。钢板的 $n$ 值比铝板(硬质铝板即H材除外)低。可以认为这种特点适合旋压成形。

表6-8 低碳钢板(附载铝板)的机械性能

板 材		性 能	Y <sub>P</sub> (kgf/mm <sup>2</sup> )	T <sub>S</sub> (kgf/mm <sup>2</sup> ) <sup>①</sup>	EI %	r 值	n 值	F 值 (kgf/mm <sup>2</sup> )	E (kgf/mm <sup>2</sup> )
热轧钢板	SPHC		25.6	34.3	43.1	0.9	0.18	57	21000
冷轧钢板	SPCC		23.9	32.9	47.0	1.2	0.21	56	
	SPCE		16.3	30.9	46.8	1.7	0.21	54	
	SPUD		15.3	28.8	50.2	1.8	0.24	50	
铝 板	1100-O		2.8	8.9	39.6	0.7	0.24	17	7000
	1100-H		15.3	16.8	5.1	0.6	0.01	38	
	5052-O		7.4	20.6	25.2	0.7	0.37	49	

Y<sub>P</sub>—屈服点, T<sub>S</sub>—强度极限, EI—延伸率, E—弹性模量。

①  $1\text{kgf/mm}^2 = 10^2\text{kgf/cm}^2 = 9.80665\text{MPa}$ , 下同。

在钢板之间进行比较, 一般来说热轧钢板比冷轧钢板稍硬, 延伸率也低。冷轧钢板中则是越高级的钢材越软, 屈服点低,  $n$  值和  $r$  值大, 总延伸率大。除了上述塑性变形的性能以外, 弹性性能方面则是钢板的弹性模量比铝板大二倍。这样有利于减小旋压成形的回弹, 相应地提高了制件的刚性。这种优点引人注目。

### 6.2.3 低碳钢板的可旋性

对金相性质和机械性能不同的多种低碳钢板进行拉深旋压试验, 从中得出与可旋性直接有关的如下几点。

(1) 一般纯度的铝镇静钢板在拉深旋压时的最大延伸应变超过了 250%。

(2) 纯度稍差的沸腾钢板的极限延伸率随钢板氧含量的增加而降低, 如图 6-1 所示。

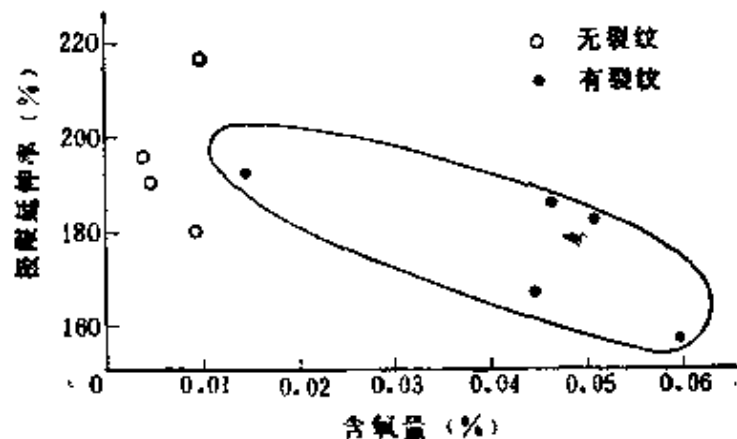


图6-1 钢板的极限延伸率与其氧含量的关系

(3) 钢板的晶粒—粗化成形极限就降低。

(4) 钢板的机械性能中的总延伸率、 $n$  值及  $r$  值对旋压的成形极限没有直接的影响。

试验中使用的钢板很薄(约 0.5mm), 常用厚度的钢板(0.8~1.6mm) 肯定会比上述的极限制高得多。

旋压的变形程度很高, 所以钢板内部的各向异性与旋压件的形状畸变有关联。对影响低碳钢板的旋压成形与冲压成形的因素进行综合比较, 示于表 6-9。

表6-9 影响旋压和冲压的成形性的因素比较

成形缺陷	旋 压 成 形			冲 压 成 形	
	方式	因 素	方式	因 素	
断裂	变薄	纯 度 晶 粒 度	胀形	$n$ 值, 延伸率 $P$ 值	
	拉深		拉深		
复合					
凸耳	复合	$r_0/r_{0-90}$	拉深	$r_0$	
皱折	变薄	屈 服 点	拉深	强度(1/YP, 1/TS)	
	拉深	强度(1/YP, 1/TS)	复合		

## 6.3 不 锈 钢 板

### 6.3.1 不锈钢板的金属性质和机械性能

不锈钢板是在钢中加 Cr 或 Cr 与 Ni, 并经轧制而成的, 目的是增强钢板的耐腐蚀性特别是耐酸性。从金相组织上可将不锈钢大致分为三种, 如表 6-10 所示。表中记载了它们的基本特性和一些有代表性的市售钢板。马氏体不锈钢板的耐腐蚀性不好、强度高而不适于旋压, 故旋压中用得很少。

#### (1) 金属性质

(a) 铁素体钢板 有代表性的是 SUS430(Cr18%)。它们的铬含量为 11~27%, 由于不含镍而价格低廉且耐腐蚀性好, 故应用得很广泛。一般来说, 这种钢的碳和氮等含量高, 比较硬,



表6-10 不锈钢板的分类和基本特性

	钢 种			
	Cr系	Cr系	Cr-Ni系	
	马氏体型	铁素体型	奥氏体型	
成 分	C > 0.15 Cr < 17	C < 0.20 11 < Cr < 27	C < 0.10 Cr > 16 Ni > 7	
品 格	体心立方	体心立方	面心立方	
磁 性	有	有	无	
膨胀系数 $\times 10^{-6}$	约11	约11	约18	软钢约11
导热系数 $\times 10^{-3}$ (cal/(cm <sup>3</sup> ·s·°C))①	~58	~62	~51	软钢~124
钢板示例	SUS 201 202	SUS 403 405 410 430	SUS 301 304 310 316 347	

① 原文可能有错，一般导热系数单位为cal/(cm·s·°C)，1cal/(cm·s·°C) = 418.68W/(m·K)。——译者注

可以认为是铝镇静钢加铬的合金钢，其他的物理性能也类似于低碳钢板。由于添加了大量的铬而在高温下不产生相变，所以很难控制结晶组织，也很难消除不均匀变形的根源——结晶集合组织。而且钢板中一生成成了CrC，材质就会产生明显的脆化，热处理的时候必须予以注意。这种钢板在氧化性气体中的耐腐蚀性随着铬含量的增加而提高。

(b) 奥氏体钢板 这是以现在用得最多的SUS304为基本钢种的所谓18-8Cr-Ni钢板。它的晶体结构与常用的其他钢板不同，所以高温和低温的强度和韧性均高，耐酸性比铁素体钢板更好，在大气中几乎不生锈。这种钢板通常是在以较快速度从高温冷却下来的状态下使用的，虽然板坯具有奥氏体组织，但如果进行强力的冷加工就会变成马氏体组织，强度急增，同时由原来在奥氏体下是非磁性钢板而变得与通常的钢板一样能显示磁性。这

样，由于具有金相组织方面的复杂特征，又由于铬含量高而和铁素体钢板一样在高温下产生铬的碳化物析出相，所以改进的品种很多，选择坯料时应该注意有效地利用其特征。

### (2) 机械性能

在表6-11中，作为示例比较了两种典型的不锈钢板SUS430和SUS304的机械性能。SUS430近似于较软的低碳钢板，即近似于强度极限为 $50\text{kgf/mm}^2$ 级的高强度冷轧钢板。对比之下，SUS304的屈服点极低(与其强度相比)，而 $n$ 值高，总延伸率竟达到了70%。SUS304的性能有这样的特征是由于通常的加工硬化而且在加工中形成马氏体的作用。

表6-11 不锈钢板的机械性能

性能	钢板	YP	TS	EI	r 值		P 值	E
		( $\text{kgf/mm}^2$ )	( $\text{kgf/mm}^2$ )	(%)	r 值	n 值	( $\text{kgf/mm}^2$ )	( $\text{kgf/mm}^2$ )
SUS	430	38.8	55.7	30.9	1.1	0.19	87	21000
	304	25.4	66.5	70.0	1.0	0.43	128	20000

YP—屈服点，TS—强度极限，EI—延伸率，E—弹性模量。

表6-12 不锈钢板在拉深旋压时的局部极限延伸率(最大的百分比，厚度1.6mm)

延伸率 (%)	钢 种
45	305
40	302, 304
35	316, 321
30	310, 317, 430
25	210, 301, 405
20	403, 410

### 6.3.2 不锈钢板的可旋性

铁素体不锈钢板可以看成是强度高的低碳钢板而可以进行旋压。奥氏体不锈钢板往往在成形初期就产生严重的硬化而不能继

续变形，这是由于晶体结构的不同和成形中形成马氏体而引起显著的加工硬化。因此对奥氏体不锈钢板进行旋压时必须进行多次中间退火。

各种不锈钢板在拉深旋压时的极限延伸率如表 6-12 所示。其中的 430 型不锈钢经过近年来的改进，选择时可按 304 型不锈钢对待。

#### 6.4 各种材料的成形性

关于材料的成形性已经在第四章有所涉及，但一般来说由于还没有确立讨论可旋性的适当方法，因此没有进行数据的积累和整理。表 4-3 所载的是剪切旋压和筒形变薄旋压的最大壁厚减薄率。其求法明确，因此对于比较各种材料的可旋性很有价值。通常认为，拉深旋压时由于使用的成形条件不同而产生很大的差异，因此很难对各种材料的拉深旋压的可旋性进行比较。表 6-13 所示的是各种材料的旋压成形的难易度。将材料分组，每组各取 100 为成形难易度的基准值，在各组内部比较材料成形的难易度。不能认为这些数据有充分的工程学论据，不过在现阶段有助于了解成形性与材料特性的关系。

表 6-13 各种材料的成形难易度(有 \* 者为加热旋压)

材 料	拉 深 旋 压		变 薄 旋 压		
	浅	深	40°~90°	25°~40°	25°以下
铝及其合金					
1100-O	100(1.0)	100(1.0)	100	75	50
3003-O	100(1.0)	99(1.0)			
3004-O	100	90			
5052-O	90	65			
2014-O	75	60*	100	95	65
2024-O	65	45			
6061-O	95	85			
铜及其合金					
铜	100(0.87)	92(0.87)	100	90	80
黄铜	95	75	100	80	75

(续)

材 料	拉 深 旋 压		变 薄 旋 压		
	浅	深	40°~90°	25°~40°	25°以下
青 铜	90(0.87)	60(0.87)	90	70	45
钢					
SAE1010	100(0.91)	95(0.91)	100	95	90
4130	80	50*	90	75	—
4340	75	45*	85	70	—
不锈钢					
202	100	78	100	92	85
302	98(0.65)	80(0.33)	100	95	90
304	98(0.65)	90(0.65)			
305	100	100			
316	90	60	98	90	80
321	85	50			
347	90(0.67)	50(0.67)			
17-7 PH	80*	60*	70*	—	—
镍系					
蒙乃尔	100(0.86)	88(0.82)	100	92	—
因康镍	90(0.81)	70(0.75)	90	80	—
镍					
Hastelloy B	100(0.86)	92(0.86)	—	—	—
75	75	35	90	75	60
其他					
铅	96(0.90)	90(0.85)	—	—	—
铋	100(0.94)	100(0.94)	—	—	—
镁	80*	70*	90*	80*	70*
钛	60	25	90	85	75

括弧内的数据是以1100-O和3003-O铝材的成形难易度为1(基准值),各种材料在拉深旋压时的成形难易度的参考值。——译者注

## 第七章 旋压产品的生产经验

以上各章介绍了自动旋压机、旋压成形的基本方法、成形实例与成形方面的注意事项以及所用材料的特性。这样从纵向阐明了旋压成形技术的全貌。但是在旋压产品的成形方面看来还有许多成功之道没有包括进去。本章考虑到这一事实，决定按(A)~(Z)等26个题目归纳为产品的生产经验，以便从横向将上面各章的内容串联起来。

表7-1 旋压技术的共性问题的分类

问题的分类	数	目	百分比(%)
成形技术	37		48.1
材料	13		16.9
机床的操作性	10		13.0
工艺装备	10		13.0
热处理	4		5.1
生产率	2		2.6
润滑剂	1		1.3
合计	77		100.0

表7-2 各种材料的旋压技术问题的调查统计

材 料	回函件数(X)	表明问题的件数(Y)	Y/X(%)
碳 钢	75	37	49.3
铝	56	41	73.2
不 锈 钢	52	40	76.9
铜	17	8	47.0
黄 铜	14	14	100.0
其 他	11	6	54.5
合 计	225	146	—

对操作者在加工产品中苦心解决的技术问题的调查结果载于表 7-1。其中有关成形技术的问题占 48%，其次是材料方面的问题。从表 7-2 所示材料问题的比例来看，黄铜、不锈钢以及早就用于旋压的铝的问题较多，调查统计的结果饶有趣味。

本章分成形技术、工具、毛坯与预制件以及切割之类的辅助加工等部分进行阐述，以供读者参考。

## 7.1 成形技术的有关事项 (A ~ N)

### (A) 从哪些方面防止起皱

(1) 对板坯进行旋压时，应放慢旋轮的进给速度和拖板的送进速度。但需注意的是进行筒形变薄旋压时，如果旋轮进给速度太慢则反而容易起皱。

(2) 加大毛坯转速。这是由于旋轮进给速度一定时，毛坯转速大则减小了毛坯每转的成形量，从而减小了凸缘的弯曲变形量。这是与 (1) 相关的措施。

(3) 在旋轮的反面加反推辊，使其和旋轮一起夹住毛坯，从而减缓每转的弯曲变形。

(4) 需要特别注意的是对铝板进行旋压时，加反推辊容易损伤板材，对内表面要求高的制件如照明器具和家用器皿尤其如此。

(5) 旋压之前可以使用卷边装置将毛坯的外缘卷边，以提高其抗皱能力。

(6) 旋压硬材料和加工硬化指数小的材料如硬料 (H 料) 和半硬料 (H/2 料) 时不容易起皱。但需注意，这是对变薄旋压而言，拉深旋压不使用硬材料。

(7) 若在往复拉深旋压时出现皱折，就应不使用回程道次进行成形，但也有过用回程道次消除往程道次产生的皱折的经验。

(8) 减小旋轮的圆角半径。如果多道次拉深旋压的旋轮圆角半径大就会滋长起皱现象。可以采用比通常情况更小的圆角半

径，使毛坯在成形中由于旋轮的作用而形成环节。

(9) 在活动模板的形状上下工夫。如果是圆弧形模板则要减小圆弧。一般认为这很重要，如第四章所述应注意初期道次的仰角  $\theta_0$  的选择，可参看 4.1.2 节。

(10) 减小活动模板的移动间距  $P$ 。这也与  $\theta_0$  有关系，可参看 4.1.2 节。

(11) 除特别指定的情况外，一般应采用较厚的板坯。因为起皱的容易度与板厚的平方成反比，薄壁件容易起皱而很难成形。

(12) 多道次拉深旋压时，旋轮都不要旋到毛坯的外缘为止，而应在中途转移到下一道次。凸缘宽度小时容易起皱，因此若不妨碍最好在每一道次都留一点凸缘的情况下进行成形。

(B) 采取什么措施防止壁部断裂

(1) 多道次拉深旋压时每一道次的间距  $P$  要取得小。

(2) 拉深旋压时旋轮进给速度不要取得太小，否则旋轮就会在毛坯同一处施旋多次，从而容易拉薄壁部。

(3) 变薄旋压时旋轮进给速度取得太大反而容易断裂，所以必须取在最大进给速度以内，可以参看 4.2.2 节。

(4) 成形工件的拐角时，需用角部精整旋轮推压预成形的拐角。如果不注意预成形的形状则角部就会减薄而破裂。

(5) 旋轮圆角半径  $R$  不要过小。如果  $l_0/R$  太大，则在拉深旋压时会加大旋轮前面形成的环节的阻力而使壁部断裂。反过来说可以加大现用  $R$  进行尝试。

(6) 改变摆动模板的形状、旋转中心和间距。需要注意 4.1.2 节所述道次安排的方法，而选择仰角  $\theta_0$  尤为重要。

(7) 毛坯若是焊接的板材或管材，焊接质量必须良好，而且成形前最好切实磨平焊缝。

(8) 应该从材料方面分析是否容易开裂。例如冲裁毛坯时擦伤了外周就会从边缘开始产生纵向裂纹，延伸率小的材料不适于拉深旋压。此外，粗大的晶粒将承受大的拉伸变形而容易导致

壁部断裂。

(9) 要考虑使旋轮从毛坯周边向中心移动。例如进行多道次拉深旋压时采取往复式拉深，在回程道次滑入进行拉深。

(10) 旋压黄铜或不锈钢时应特别小心，还需考虑适当的热处理。

(11) 芯模与旋轮的间隙过大则工件内表面呈现梨皮状，有时还导致壁部断裂，所以间隙应留得适当。

(C) 如何注意表面精整的质量

(1) 工件表面出现的旋轮压痕是与旋轮圆角半径和旋轮进给速度有关系的。旋轮圆角半径大而进给速度小一般能使表面光洁。

(2) 若允许使用粘度系数大的润滑油则表面均匀发暗。这从微观来说表面粗糙，而通过光的漫反射表面就显得均匀。使用粘度系数小的油则它只与旋轮的局部接触，表面就不会均匀。对于铝之类的材料来说，旋压中往往产生很多剥离粉，宜用粘度系数小的润滑油将它们除去。

(3) 旋轮的工作面最好经过研磨。

(4) 要使工件内表面美观就应将芯模表面加工得光洁，最好是镀硬铬。

(5) 采用冲压预制件时需注意预制形状，尤其是角部的圆角大小，因为这将影响旋压表面的质量。

(6) 旋制铝件或铜件时，用硬质合金压头轻轻推压，这样进行精整是很有效的。

(7) 在(6)的情况下如果表面产生颤振，可以在硬质合金压头背面夹聚氨酯橡胶以起缓冲作用。

(8) 以变薄旋压为主成形铝制件时，使用塑料旋轮很有效。但用在多道次拉深旋压时，需注意表面会留下多道次旋压的痕迹。

(9) 旋压硬材料时可以使用硬质合金旋轮。

(10) 如图 7-1 所示，如果在结束成形的时候，工件的凸缘



与部分芯模相遇，则已经成形完了的工件本体上可能产生小的波纹状凸起。

(11) 如果壁厚减薄过度，则工件已成形的部分会出现鼓凸和图 7-1 A 处那样的回挤，致使工件形状不规则。

(12) 旋轮和芯模的偏摆要小，因为它影响表面精整。

(13) 对于铝材和铜板还可以采用塑料芯模，但不宜用于大量生产。

(14) 使用平面旋轮消除预旋旋轮的旋压痕迹。

(15) 若成形时产生颤振就会使表面变得粗糙。这往往是由于旋轮与芯模的间隙选得过小而造成的。

(16) 为了降低工件内表面的粗糙度，与它相接触的芯模部分最好不进行润滑，让毛坯与芯模直接接触而得到精整并强制压光。

(D) 怎样使凸缘在成形中或成形后保持直立

(1) 凸缘在成形中倾倒多发生于变薄旋压的场合。一般认为这是旋轮与芯模的间隙没有遵循正弦律所致，故需调整间隙。虽然凸缘向前或向后倾倒的状况随芯模圆锥角  $2\alpha$ 、旋轮顶端圆角半径  $R$  以及旋轮进给比  $V$  而变化，但总的来说间隙过大或过小都不适宜。

(2) 成形大直径工件时，为保持凸缘直立可以使用反推辊。

(3) 注意旋轮的形状，尤其是旋轮的圆角半径  $R$  须与板坯厚度相对应。虽然规定了  $R/t_0 > 1$ ，但在  $R/t_0$  值小时旋轮圆角部仍会咬入毛料，凸缘就容易向后倾倒。相反，如在  $R/t_0$  值大时凸缘就容易向前倾倒。

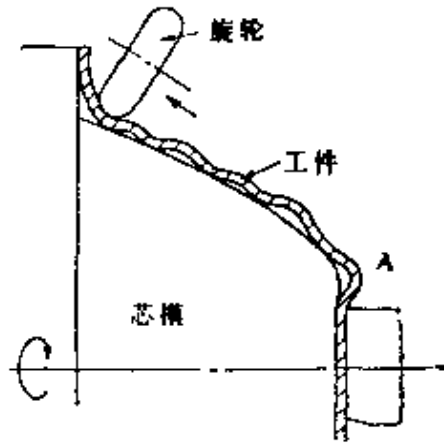


图 7-1 工件形状不规则

(4) 关于旋轮的形状除标准旋轮外还应对与毛坯凸缘部分相对的旋轮圆角半径多加研究，要注意凸缘与工件直径的比值。

#### (E) 工件扭转的影响及其防止的方法

(1) 旋压时一部分毛坯被夹紧以进行旋转，另一部分则由旋轮推压成形。这时沿周向产生扭转而可能对工件产生影响，但一般来说影响不太大。拉深旋压时扭转程度很小可以不计，剪切旋压和筒形变薄旋压时则增大而需注意。

(2) 旋轮圆角半径小则扭转角小。

(3) 剪切旋压时圆锥角越大即壁厚减薄率越大则扭转角越大。

(4) 旋轮进给速度大则扭转角小。

(5) 和(4)一样，毛坯转速小则扭转角小。

(6) 如果加大尾顶的压力就能使扭转角减小一些。

(7) 若给旋轮加一个倾角情况就会有所改善。

(8) 对管材进行筒形变薄旋压时，如果附加一个轴向拉力则可以减小扭转角，还可以防止因扭转而产生的弯曲，从而能够顺利地旋制出极薄的管件。

(9) 由于工件的形状和成形条件的多样性，对于扭转还不能从定量上予以说明，只能从成形情况来判断。一种观点是旋轮与毛坯的接触面积增大，尤其是因变薄而增加了总接触面积时就增大了扭转角。旋轮进给速度小时瞬时接触面积小，但总接触面积增大，所以扭转角增大；当旋轮圆角半径小时则接触面积小，所以减小了扭转角。

#### (F) 如何提高工件的形状精度

(1) 在球形、抛物面形以及凸形壳体件的成形中，在旋压終了处的芯模与工件之间可能出现间隙，致使工件产生若干形状误差。这时候用同样的成形条件让旋轮沿芯模再旋压一遍就行了。但需注意的是如果工件在芯模上贴得很紧或者相对(直径的)壁厚薄时，则反而使工件的形状不规则。也就是说，在二次旋压时旋轮压在芯模上需进行轻度的拉深作业，如果在旋轮与芯模之

间产生变薄那就会使形状不规则。

(2) 为了获得准确的形状, 必须事先考虑卸件后的回弹量, 并把它估算到芯模中去, 即修正芯模的结构尺寸。

(3) 旋轮进给速度选择和调整得适当就能获得高的形状精度。

(4) 在成形中随着工件形状的变化需要更换尾顶块, 使它以尽可能大的面积压紧毛坯以保证成形的稳定性, 改善工件的形状精度。

(5) 筒形变薄旋压时, 采用二至三个旋轮能够增加成形的稳定性, 改善形状精度。

(G) 怎样提高工件的尺寸精度

(1) 单独采用剪切旋压、筒形变薄旋压或由它们搭配的复合旋压, 尽量避免拉深旋压。这样能获得高的尺寸精度。

(2) 进行拉深旋压并对形状和表面有较高要求时, 往往需要在最后追加一个道次使旋轮沿芯模走一个行程。

(3) 不要让机床进行超负荷工作, 在出现追加变薄成形时旋压力会加大(参见 4.2.2 节)。

(4) 根据工件的材料和尺寸选用具有相应刚性的旋压机。在第八章中载有日本制造的旋压机的技术规格。

(5) 芯模和安装在芯模上的毛坯应尽量没有偏心和厚度不均的情况。

(6) 为了获得工件的最终形状, 必须对芯模与旋轮的间隙予以足够的注意。要考虑工件壁厚而对模板进行正确的调整。

(7) 芯模因加大旋压力而出现挠曲时, 可以使用两个对置旋轮或三个旋轮。

(8) 在避免颤振和工具系统的振动方面下工夫。

(9) 如果旋轮的进给速度太小则容易引起材料的周向流动, 使工件离模而降低直径精度。

(10) 如果用液压将旋轮直接压在毛坯上进行成形时(使用擀棒也一样), 若压得过度壁厚就会过于减薄。

(11) 进行筒形变薄旋压时，分成二至五个道次成形比一道次大减薄的方式好。

(12) 为了准确地成形出所需的壁厚，应将拉深旋压和变薄旋压进行适当的组合，或者采用边拉深边减薄的拉深变薄旋压。此外，为降低制造成本而采用冲压预制件时，应考虑旋压后的壁厚而研究预制件的形状。一般来说，应考虑到拉深旋压时外缘部分的壁厚将会增加，而剪切旋压时随着芯模形状的倾斜而减薄。

(13) 拉深旋压时如果通过试旋确定好毛坯的直径后再旋压时，则工件的轴向高度就能比较精确。但是有时也会因材料批号不同而有差异。这时可以通过改变旋轮进给速度进行调节。成形中若高度逐渐加大而碰着芯模的台肩部就会使形状不规则。当增加切除量还不能解决问题时，可以在旋压中途切除一段。

(14) 如果旋轮圆角半径太大则可能使壁厚变薄或使工件产生周向鼓凸。

(15) 如果机床液压油的温度发生变化则成形条件随之变化，从而影响工件的精度。因此最好尽量使油温保持不变，例如一定要使机床运转之后再旋压。

(16) 应使芯模和旋轮没有偏差。最好设法提高机床工具的总体精度。

(17) 使用冷却剂以免成形温度上升。

(H) 安装毛坯和卸下工件应注意的事项

(1) 毛坯通过机床的附属装置——毛坯托架进行定心，要注意毛坯的位置调整以保证定心可靠。

(2) 分两道工序进行旋压时，最好在芯模上下工夫，以找出好的定心方法，使得第一道工序制出的半成品能够顺利地定心。此外还要借助尾顶压紧。

(3) 安装毛坯要利用尾顶的推力，在不损害工件的前提下如能在毛坯上打孔后用尾顶块压住，则能够将它安装得很牢固。

(4) 在拉深旋压中如果工件在芯模上贴得很紧而难以卸下，则可以在芯模上涂少量的油。在几乎所有筒形变薄旋压的场

合都需给芯模涂油。

(5) 卸件困难时可以使旋轮再沿工件轻压一次,使工件稍微胀大能脱模。但即使这么轻压一次也可能导致工件形状不规则、轴向延伸过度或表面粗糙度产生问题,因此要对旋轮的形状和进给速度予以充分的注意。

(6) 使芯模稍带锥度就容易卸件,但是这要取决于工件的精度和轴向长度(工件高度)。

(7) 采用顶料器(参见图2-3)脱卸工作时,工件的底部有可能鼓凸。此时要同时用尾顶块将底夹住,然后由顶杆顶出工件。

(8) 顶杆上的顶块直径相对工件的底部来说要尽量作得大。自动旋压机上通常都带顶料器。

(9) 芯模没有通气孔会使工件脱不下来,所以要加通气孔。

(10) 旋压时产生成形热,需注意成形后工件收缩致使脱模困难。

(11) 脱卸重型工件时把工件的底部夹在顶杆和尾顶杆的顶块之间将它顶出,并在顶出的位置利用起吊设备吊运。

#### (I) 使用尾顶装置的一般注意事项

(1) 应在允许的范围尽量使用大的尾顶块。如果尾顶块过小工件被顶的部分就会破裂,或者工件产生振动而不能成形。

(2) 毛坯直径大或采用冲压预制坯时,应在顶块上下工夫以充分满足成形的要求。可以参考第五章中的成形实例。

(3) 对杯形件或管材进行旋压收口时,为了获得准确的口部尺寸尾顶一侧不用顶块而用心棒(芯模)并借旋轮仿形旋压。

(4) 将芯模的一部分安装在尾顶上,使其与安装在主轴上的芯模构成拼合模(参见第五章)。

(5) 采用偏心模时应考虑到轴承的强度,充分注意尾顶的大小。

(6) 成形灯罩之类的圆锥件时,如果旋轮与芯模的间隙过

小则尾顶一侧要加大压力才能使毛料向前延伸。尾顶的负荷增大又可能使旋转中的轴承烧伤，因此要选用大轴承、正确给定和保持旋轮与芯模的间隙。

(J) 多道次拉深旋压时活动模板的使用方法

(1) 活动模板按其移动方式分为滑动式和摆动式两种。滑动式又分为径向滑动式(图7-2)和轴向滑动式(图7-3)两种。摆动式如图7-4所示。可以根据成形的需要灵活运用这些模板，不过用板材旋制筒形件时使用摆动模板比较方便。

(2) 在多道次旋压途中每一道次的旋轮轨迹相当于活动模板。将各道次的活动模板叠合起来就构成多级式模板。使用多级模板仿形装置时，可以与拖板速度无关地确定模板的形状。

(3) 活动模板的形状和转动中心必须设计得适当，但几乎都是按以往的成形实例灵活确定的，而用不着按照某个固定的方

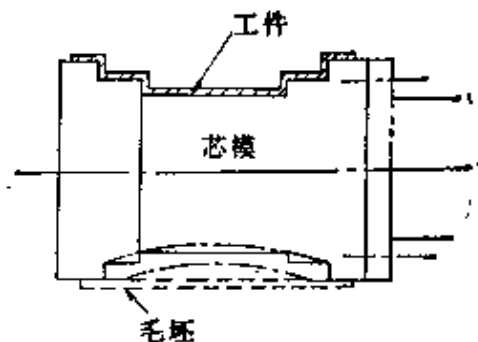


图7-2 径向滑动模板

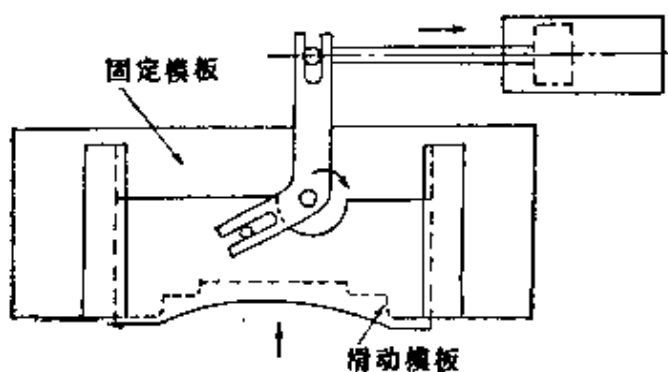
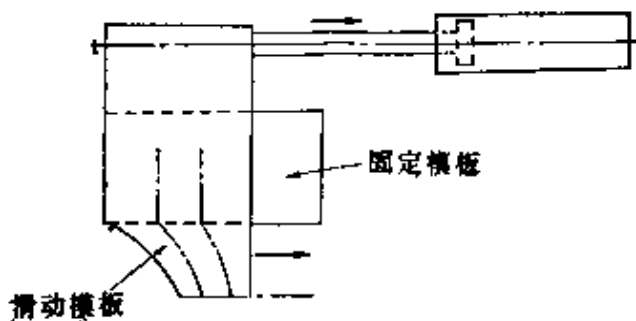
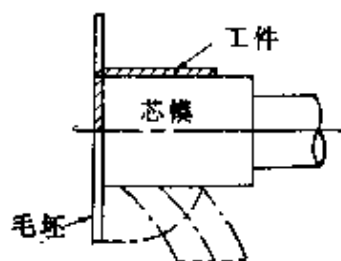


图7-3 轴向滑动模板



式。以上图示的模板用液压驱动，由其移动速度（形成间距）与拖板的速度合成的曲线即为旋轮轨迹，所以必须考虑这些关系才能确定。

（4）模板的移动速度（移动间距的给定方法）可分为连续式和间歇式两种。

（5）此外还应参照第四章的 4.1.2 节。

（K）筒形变薄旋压时如何防止毛料在旋轮前的隆起

（1）隆起是筒形变薄旋压中容易出现的问题。旋轮的工作角  $\alpha$  大、壁厚减薄率大或芯模与毛坯的间隙大时，隆起多而阻碍成形，所以这些数据要选得适当。

（2）最好是减小旋轮的进给比。

（3）旋轮与毛坯的间隙大时，可以在第一道次成形时采用小的壁厚减薄率和大的旋轮进给比，减小其间隙。这样能够减少以后各道次成形的隆起。

（4）使两个旋轮在其纵向进给的方向上（管坯轴向）错开一点即所谓加错距，并改变各旋轮与芯模的间隙，从而可以减小每个旋轮的壁厚减薄率。

（5）作成如图 7-5 所示形状的旋轮以便推压隆起部分。 $\beta$

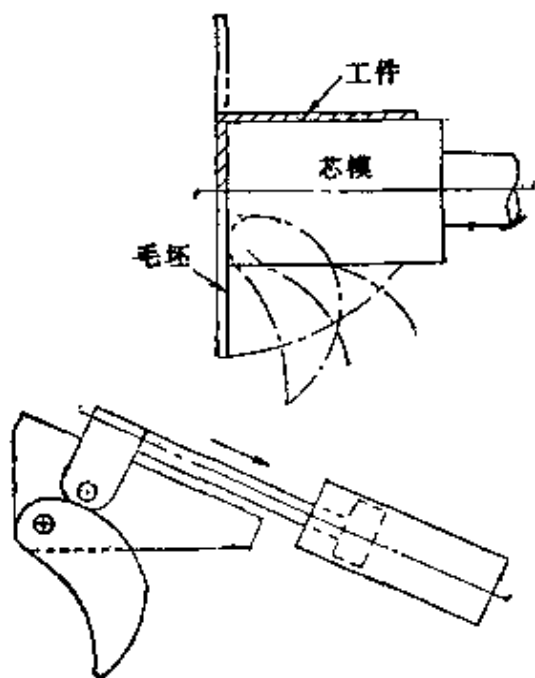


图7-4 摆动模板

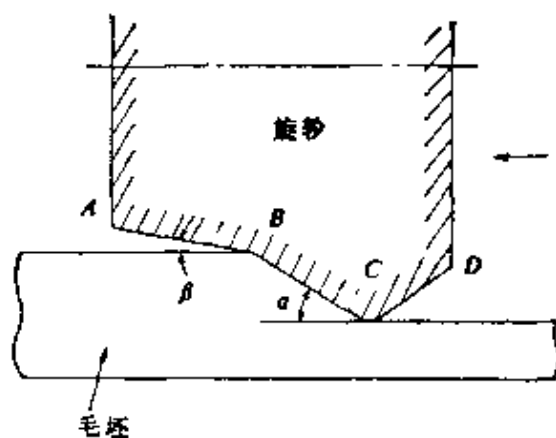


图7-5 筒形变薄旋压用旋轮的形状

角应取得小。考虑到材料的流动其  $BC$  部分作成圆滑的曲线形比直线形好。

(L) 使用润滑剂和冷却剂的有关注意事项

(1) 旋压是回转成形，使用流动性润滑剂则容易飞散，故常用肥皂和石蜡等润滑剂。

(2) 使用涂覆的润滑剂时，必须注意如果涂得不均匀表面就会出现花纹，而且有油处和无油处的厚度可能不一样。此外，工件直径大时只能在成形之前涂油。

(3) 使用流体润滑剂时，毛坯转速和旋轮直径越大、旋轮进给速度和旋压力越小及润滑剂的粘度系数越小，则润滑效果越好，也就是润滑油越容易进入旋轮与毛坯的未成形面之间。当润滑油供给得充分时工件表面就发暗。

(4) 为使工件有光泽，工具与毛坯毛面最好有一定程度的接触，因此最好采用与 (3) 相反的条件，还可以考虑用硬质合金压头进行精整。

(5) 为不使工件产生热粘附和表面剥离，需在润滑剂里加冷却剂，在重型旋压和严酷的条件下尤需这样做。对于铝、铜或黄铜需使用油性剂，而对于钢类材料则使用水溶性剂。

(6) 可以使用切削润滑剂。

(7) 可以简便地使用机油而没有特殊限制。

(8) 润滑剂和冷却剂的种类

(a) 用于铝和铝合金系列：固体石蜡、机油、“出光マスタドロ” 533D、产生剥离时使用植物油。使用油性冷却剂。

(b) 用于铜和黄铜系列：机油。油性冷却剂。

(c) 用于碳钢系列：机油、剥离严重时使用植物油。水溶性冷却剂。

(d) 用于不锈钢系列：机油宜用粘度系数大的。最好用冷却效果好的水溶性冷却剂，如“则武”磨削冷却液 AF-25 和机床用 Hangsterfer S-500 等。

(M) 成形技术的其他一般事项



(1) 对工件的壁厚变化有特殊要求时旋压较困难, 但如果注意拉深旋压和变薄旋压的道次安排及成形条件的选择, 还是能很好地适应。这是旋压成形的特点之一, 其他成形方法是不具备的。

(2) 多道次拉深旋压可以采用单向拉深和往复拉深两种方式。

(3) 在单向拉深旋压中若使用往程道次则工件壁部减薄, 若使用回程道次就增厚。因此对于壁部断裂可以据此判断应采用往复拉深旋压还是单向拉深旋压。

(4) 旋轮圆角半径  $R$  与板坯厚度  $t_0$  的比值  $R/t_0$  在剪切旋压时规定应大于 1。若  $R$  过小则旋轮圆角会咬入板坯而不相宜。

(5) 要准确地旋出工件角部的形状, 就需使用与角部形状吻合的特形旋轮 (角部精整旋轮) 进行推压。如果角部可能开裂则不仅要推压旋轮, 而且要使它移动, 从而将材料引入角部以免开裂。

(6) 旋压力过大既使精度变差又易引起振动, 故应减小旋轮进给速度并增大转速。

(7) 反推辊用于多道次拉深旋压的初期道次, 并尽量减少使用时间, 如果一直使用则往往减薄或损伤板材。

(8) 板材夹在反推辊与芯模或旋轮之间而旋轮进给速度小时则壁厚减薄。

(9) 并用拉深旋压和变薄旋压时, 应尽量采用浅拉深而增加变薄旋压的变形程度, 使之易于旋出工件。

(10) 在拉深旋压中, 应根据旋压的方式和工件的形状选择旋轮圆角半径  $R$  以满足需要。 $R$  的选择是拉深旋压中最重要的一环。

(11) 应减少芯模和旋轮的偏摆。变薄旋压时如果旋轮偏摆则工件表面会出现旋轮压痕。

(N) 采用热旋压的注意事项

(1) 加热超过再结晶温度时就能进行大变形率的旋压成

形。对于钢宜取  $1100^{\circ}\text{C}$  以下，加温过高往往引起脱碳和降低强度。

(2) 对较薄的铜管或铝合金管进行管端成形时，若成形面积小就不用旋轮而用不旋转的工具（如擀棒），利用其摩擦热就能进行热旋压。

(3) 可以采用火焰喷枪或煤气燃烧器对旋转的毛坯加热。

## 7.2 加工工具的有关事项 (O~Q)

(O) 旋轮的形状和材料的选择

(1) 加工工具大致分为五种，即(a)旋轮 SR，(b)切割轮 TR，(c)切割刀 TB，(d)卷边轮 CR 以及 (e) 压头。(c) 和 (e) 虽不是轮具但也是重要的工具。图 7-6 所示为这些工具的形状。图 7-7 所示为实际使用的旋轮尺寸。

(2) 轮具和切割刀的材料大致如下。

(a) 旋轮：SK2、SK3、SUJ2、SKD11 以及硬质合金。

(b) 切割轮：SK2、SUJ2、SKD11 以及硬质合金。

(c) 切割刀：SKH 和硬质合金 (P20、K10 以及 M20)。

(d) 卷边轮：SK2、SK3、SUJ2、SKD11 以及硬质合金。

(e) 压头：硬质合金。

此外，热旋压的旋轮采用 SKD61。

(P) 旋轮的精度对工件精度的影响

(1) 旋轮的精度对成形本身没有多大的影响，但要使表面精整好就必须使用偏摆小的旋轮。

(2) 在对工件尺寸精度有特殊的高要求时，也希望旋轮具有高的精度。

(3) 剪切旋压和筒形变薄旋压时旋轮的偏摆最好不大于  $0.01\text{mm}$ 。

(4) 在成形高精度工件时旋轮的偏摆应不大于  $3\sim 5\mu\text{m}$ 。

(Q) 芯模的精度（包括椭圆度和偏摆等）以及安装芯模

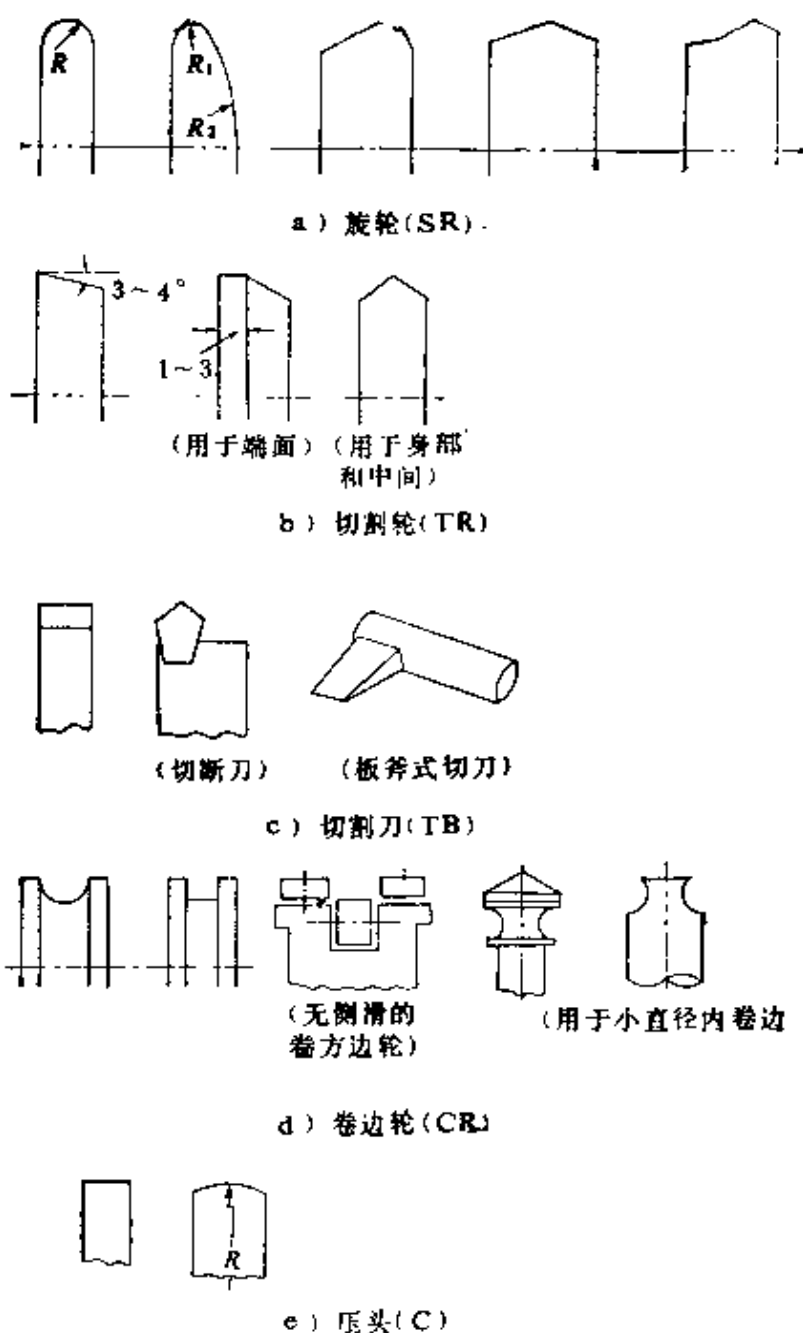


图7-6 旋压工具的形状实例

(包括拼合模)时的注意事项

(1) 剪切旋压和筒形变薄旋压时芯模的精度也同旋轮的精度一样重要,其椭圆度和偏摆应分别在 $0.01$ 和 $0.03\text{mm}$ 以内。尤其在要求工件的精度高时,规定芯模的椭圆度和偏摆分别在 $3\mu\text{m}$ 和 $0.01\text{mm}$ 以内。

(2) 拼合模的使用只限于没有减薄作业的情况,旋压时应

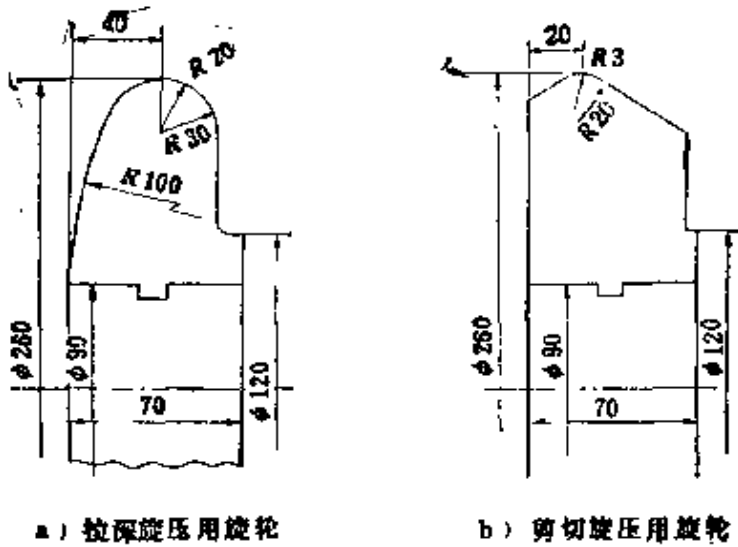


图7-7 旋轮实例(SKD11)

不使毛料压入芯模的接合缝隙。

(3) 芯模安装在机床的主轴上时应注意使其偏摆为最小(参见第二章)。

(4) 要求高精度以至提出芯模椭圆度问题的工件比较少,因此在一般的生产中可以不为椭圆度担心。

(5) 如果芯模的偏摆大则导致工件厚度偏斜。如图7-8所示,筒形变薄旋压时工件产生弯曲(图a),剪切旋压时壁厚和圆锥半角也会变化(图b)。

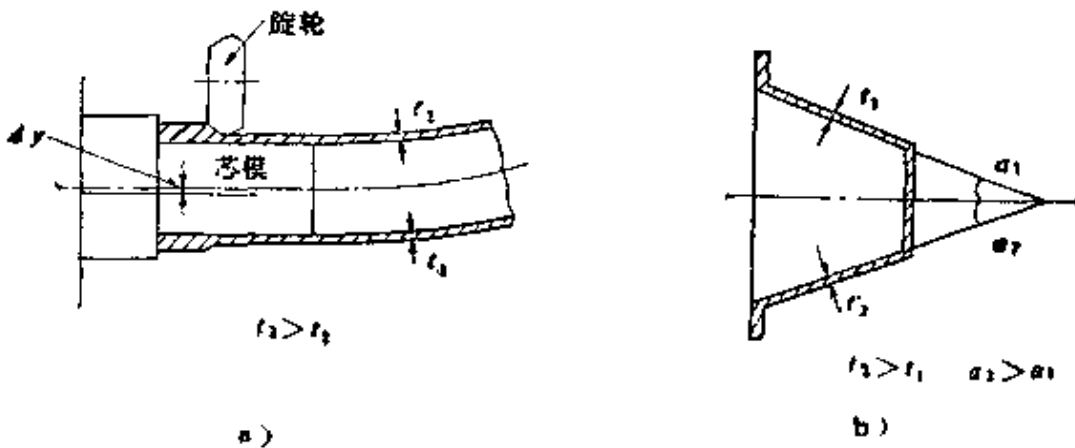


图7-8 芯模偏摆导致厚度的偏斜

### 7.3 毛坯的有关事项 (R~T)

#### (R) 设计和选择毛坯时的注意事项

(1) 毛坯的尺寸可以按体积不变规律进行大致的计算。设压在尾顶块下的底部板坯厚度为  $t_0$ ，则工件侧壁厚度约为  $0.6t_0$  或  $0.7t_0$ ，视工件的形状和高度而定。

(2) 剪切旋压时毛坯的外径不变，工件壁厚是板坯厚度  $t_0$  的  $\sin \alpha$  倍 ( $\alpha$  为芯模表面的切线与芯模轴线的夹角)，设计工件的形状时应尽量符合这一规律。

(3) 旋轮的顶端圆角半径及其进给速度越小则工件壁厚越易减薄。这一点在毛坯设计时应予以考虑。

(4) 板厚薄时单用旋压比较费时间，可以采用冲压预制件，即进行冲压与旋压的复合成形。

(5) 还没有确定冲压预制件的形状的准则，不过可以按剪切旋压的要求来确定它的圆角和直径等。

(6) 为确定冲压预制件的形状而进行拉深试验的时候，若采用冲压就需制造冲模，而采用旋压就可以利用将要旋制该工件的芯模，这样比采用冲压经济得多。

(7) 应注意到冲压预制件角部的圆角半径如果设计得太小，则旋压时工件上会留有角部的痕迹。

(8) 应注意到旋制冲压的预制件时很难去除冲压产生的伤痕。

(9) 毛坯的外周要切得整洁以防止旋压时的周边开裂。冲裁的圆板坯比剪切的质量好。

(10) 毛坯的直径如果超过必要的尺寸将给切割以及切屑的处理造成困难。

(11) 用多道次拉深旋压进行试旋时，若使用的毛坯的直径比实际成形用毛坯的直径小一些，则对选定成形条件较为有利。

(12) 进行多道次拉深旋压时，若拉深比过大则毛坯可能出现气孔（原来潜伏在坯料里）和分层现象，故最好避免采用太大

的拉深比旋制过高的工件。

(13) 应尽量使用成形性好的毛坯材料。材料的晶粒越细工件的表面就越好。此外还应考虑是否需要退火。

(14) 筒形变薄旋压时即使管坯直径稍比芯模大也能进行旋制。

(S) 管材旋压时毛坯厚度不均的允许范围

(1) 管端成形例如将管端旋压成球头时, 若不使用芯模则毛坯厚度不均就不是什么大问题。

(2) 筒形变薄旋压时不允许毛坯周向有严重的厚度不均, 否则成形后的工件易呈现香蕉状弯曲(参见图 7-8)。

(3) 采用筒形变薄旋压成形高精度筒形件时, 毛坯的厚度不均量应不超过 0.01mm。

(4) 对未经切削加工的锻造或铸造预制件进行筒形变薄旋压时, 其周向厚度不均的允许量实用上最好控制在 15% 以下, 若超过 20% 就宜用切削加工预先消除厚度不均。

(T) 坯料各向异性对成形的影响及相应的措施

(1) 若板坯有各向异性工件就容易出现凸耳。

(2) 若产生了凸耳则因工件外缘不齐而影响后续道次的进行, 宜在成形过程中用备用切割刀将其切除。

(3) 使用备用切割刀切削时会受到撞击, 因此旋压钢板时不使用, 旋铝、铜或黄铜等材料时则可以使用。

(4) 在多道次拉深旋压时为使工件外缘整齐, 可以在道次行程中使旋轮行进到外缘前就返回, 即外缘不旋压。但是当筒形件的拉深比大时则以减少旋到外缘的次数为宜, 可以是两次中一次或三次中一次不旋到外缘。

(5) 最好指定使用从材料厂购入凸耳率小的板材。

(6) 变薄旋压几乎与板材的各向异性无关。因此在设计变薄旋压件时可以不考虑各向异性。

## 7.4 材料的有关事项 (U~X)

### (U) 铝及其合金在成形中的注意事项

(1) 铝的表面容易产生伤痕, 应充分注意旋轮的圆角半径和进给速度等因素。

(2) 原则上以不使用反推辊为宜, 需要使用的时候最好用橡胶辊或塑料辊。

(3) 也在推广使用塑料旋轮。

(4) 铝容易产生氧化铝粉和剥离, 应注意旋轮形状的确, 例如取稍大的旋轮圆角半径。

(5) 各向异性大的板材在成形中明显地产生凸耳, 故应选用凸耳率小的板材。

(6) 在拉深旋压中若毛坯的各向异性大而使外缘不齐时, 可以一边成形一边用备用切割刀切齐外缘以减少断裂。

(7) 拉深旋压时, 采用单向拉深旋压获得的表面粗糙度比采用往复拉深旋压的小。

(8) 使用往程道次使壁部减薄过多时, 可以使用回程道次以确保壁厚。

(9) 对铝材使用硬质合金旋轮也能达到良好的表面粗糙度, 氧化铝粉不容易粘附在旋轮上。

(10) 对于凸缘部分的切割若使用板斧形切刀(参见图 7-6)则切得好而快。吃刀量可达到  $1\text{mm}/r$ , 故应注意切屑处理。圆周速度没有多大关系, 但应考虑安全性。

### (V) 黄铜和铜在成形中的注意事项

(1) 黄铜容易产生加工硬化, 故在成形中要进行中间退火。

(2) 在成形黄铜件时也可以边加热边成形。

(3) 拉深旋压的道次安排应尽量使道次数控制在最少限度。

(4) 黄铜薄壁件容易断裂, 故需特别注意道次的取法。

(5) 对圆筒件进行轴向卷边时, 卷曲的表面容易产生剥离, 因此要使用形状合适的旋轮。

(6) 对铜管成形时要事先经过退火, 并注意它的成形率。

(7) 对铜板进行拉深旋压时, 使用的反推辊应是橡胶制的。

#### (W) 不锈钢在成形中的注意事项

(1) 采用冲压预制件时, 若根据冲压成形率判断预制件受到了严酷的变形, 则应在旋压前进行热处理以消除应力。

(2) 进行多道次拉深旋压时, 若采用往复拉深则容易断裂, 故应进行单向拉深旋压。

(3) 对 SUS 板坯进行多道次拉深旋压时, 由于加工硬化剧烈而成形困难。对 18Cr 和 13Cr 这样的板坯则可以进行多道次拉深旋压。

(4) 应事先研究能否改变工件形状使之能适应以剪切旋压为主的成形, 最好采用剪切旋压。

(5) 进行筒形变薄旋压时要尽量使一道次的壁厚减薄率达到 30% 左右。要再增大就变得困难了。

(6) 连续成形时芯模和旋轮的温度升高容易引起设定的间隙的变化, 故需采用水溶性冷却剂予以防止。

(7) 旋轮磨损严重, 故一般以采用硬质合金旋轮为宜。

(8) 为便于对磨损的旋轮进行修整或制造新旋轮, 最好将能保证顺利成形的旋轮的圆角部分制成样板保存下来。

#### (X) 焊接预制件在成形中的注意事项

(1) 应该事先磨平焊缝。

(2) 旋轮的进给速度不要太大, 以免产生裂纹。

(3) 使用钢板坯时, SPC 比 SS41 难产生裂纹, 因此拉深旋压时最好使用 SPC 或 SPH。

(4) 电焊管比较容易进行旋压收径, 但是扩径困难。

(5) 电焊管旋压收径时应该注意的一点, 即有时尽管外表面没有伤痕, 内表面的焊接区却产生龟裂。



## 7.5 辅助加工的有关事项 (Y~Z)

### (Y) 切割的有关事项

(1) 进行切割时可大致按切割处的圆周速度确定用切割轮 (TR) 或切割刀 (TB)。例如切割 SPC 钢材时若圆周速度超过  $150\text{ m/min}$  就使用切割轮。此外, 切割铝材时与圆周速度的关系不大, 使用切割轮和切割刀都容易切割, 而切割 SPC 和 SUS 等碳钢和不锈钢时需要降低圆周速度才能切割。

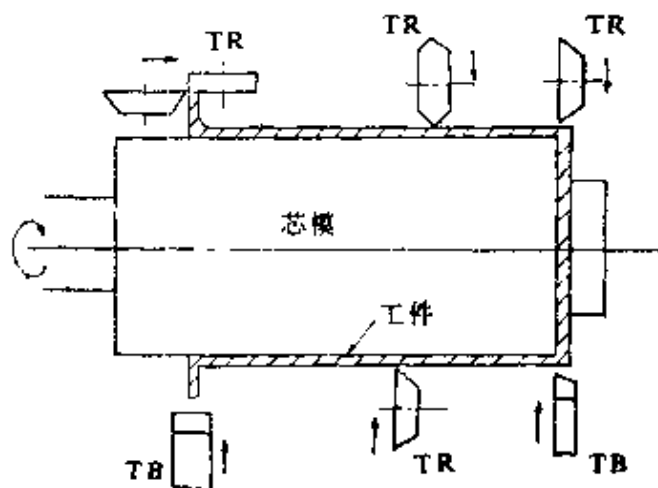


图7-9 切割的位置和方法

(2) 切割轮和切割刀的安装位置随工件的形状而不同, 大致可按图 7-9 的情况来考虑。对凸缘部分使用 TB 或 TR, 中间部分使用 TR, 底部使用 TB 或 TR。在这些情况下都要注意不使工具碰到芯模上。使用切割轮时要压入板厚约 10% 进行切割。

(3) 使用的切割刀的种类和形状随切割位置 and 材料而异, 其分类大致如表 7-3 所示。用于切割铝材的板斧形切割刀如图 7-10 所示, 这是切割刀形状的一例。用高速钢 (HS) 制造切割刀时, 其刀尖部分最好采用小于  $10^\circ$  的锐角。

表7-3 切割刀

工件的坯料	钛钨硬质合金	JIS分类	备 注
有色金属	HT110	K10	用硬钎焊切割刀需加大前角, 应注意的是硬钎焊切割刀或不重磨切割刀一般都不能带有焊瘤
普通冷轧钢板 (SPC)	ST120	P20	
不锈钢	UT120T	M20	

(4) 应考虑主轴旋转方向这一因素, 以便把切屑引到容易流动的方向。特别是切割铝材时应使切屑流出机床之外, 为此制作

的刀具形状要把切屑的流动考虑进去。也就是说，研究切割刀的形状应注意刀尖和前角。

(5) 环形余料需用废料截断器分一处或二处断开。

(6) 应该注意的是锋利度随切割轮或固定刀片所用的间隙而不同，若减小间隙则锋利度增加但寿命降低。



图7-10 板斧形切割刀

(Z) 卷边的有关事项

(1) 为了卷边，工件上需留有凸缘或在口部翻边形成凸缘。后一情况形成凸缘时应使之尽量与轴线垂直，否则卷边时凸缘会出现腰折而不能正常地进行卷边。此外采用预弯曲往往能使卷边优质而顺利地进行。

(2) 如图7-11所示最好在凸缘上切出斜切口，从而能获得美观的卷边。

(3) 如果卷边过度则可能增大表面粗糙度或产生表面剥离。

(4) 通常都是卷圆边。卷方边时一般需要两个行程才能得出准确的形状。形状无需太准确时，可以使用角卷边轮进行一道次成形。

(5) 凸缘的端部有时因拉深旋压而变厚。可以切去厚的部分，然后对厚度均匀的部分进行卷边。

(6) 凡是能够卷圆边的场合无疑也能够卷方边。

(7) 如图7-12所示，卷边时最好令  $d_c/t$  为  $5\sim7$ ， $D_c/t > 30$ 。应尽量按照这样的比例进行卷边。

(8) 待卷边的部分因多道次拉深旋压受到极度的应变而疲劳或与芯模贴合不好时，卷边往往不顺利。

(9) 对圆筒件的端部进行轴向卷边比较困难，应该研究卷边轮的形状。

(10) 轴向转边中的内卷边即向工件内侧卷边更加困难。这

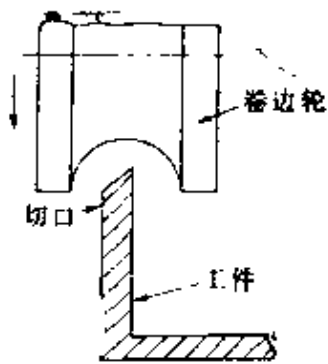


图7-11 凸缘切边的切口

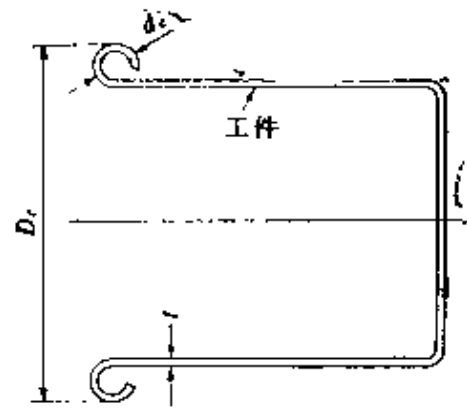


图7-12 卷边的尺寸

就要求卷边前有良好的切边形状，减小卷边轮的直径，板厚应尽量均匀，如果待卷边部分加工硬化严重则需进行预弯曲。

(11) 凸缘很宽而在其边缘卷边时的情况比凸缘窄的情况困难。

(12) SUS这样的不锈钢件在冲压预成形中就产生了严重的加工硬化，容易起皱和开裂而难以卷边，故应进行热处理或预弯曲。

(13) 对SUS不锈钢件进行卷边时，卷边轮容易磨损故最好用SUJ-2轴承钢或硬质合金制造。

(14) 对铝件进行卷边时，使用S 45 C中碳钢或碳素工具钢足能满足要求。此外需要使用润滑剂。

## 第八章 数控自动旋压机的发展动向

如前所述，自动旋压机具有多种功能，并依靠毛坯到成品的整套优良成形技术而用于复杂零件和产品的制造。近来随着电子技术的应用，把旋压机床推向数控化看来是必然的了。但是日本在这方面发表实用的文章不多，因此本章介绍其他国家的文献中反映的发展动向，以供参考。

### 8.1 数控旋压技术的概况

旋压机床的数控化始于六十年代后期，不过当时只是由数控带和机床控制器控制的简易数控旋压机。其后，获得飞速发展的计算机控制技术和微型计算机技术被引入这个领域，从而生产了机床结构和控制技术得到显著改进的各种自动旋压机。将现在使用的控制方式整理分类如图 8-1 所示。仅在控制方式和受控件的组合方面就有多种，旋轮道次数据的输入方法也有三、四种。因

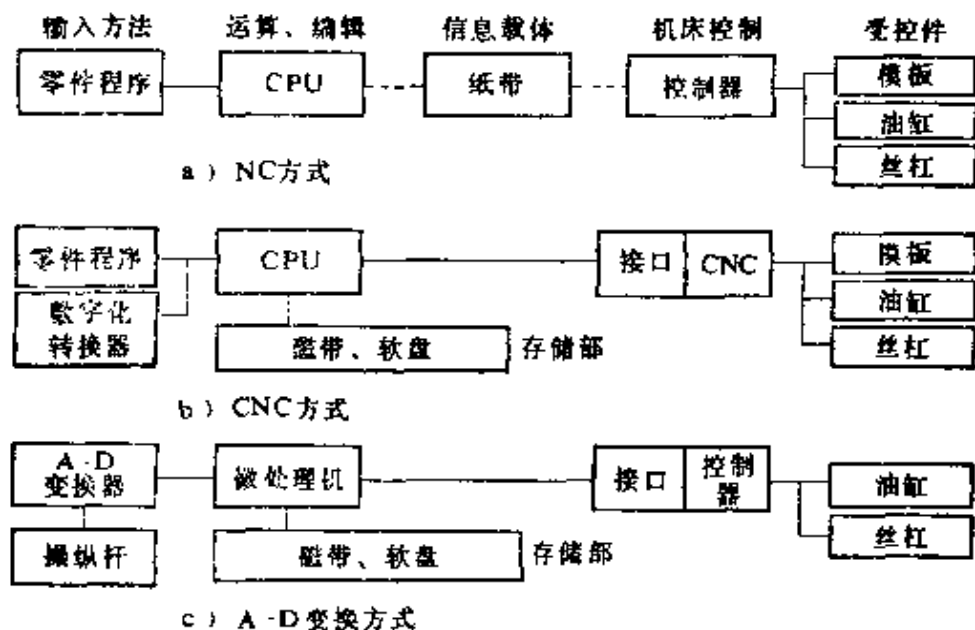


图 8-1 旋压数控技术的分类

此数控自动旋压机一词说来简单，内容却丰富多采。各种数控旋压机的共同点就是把旋轮道次和加工条件作为数据进行处理，方便地并且反应灵敏地对机床进行控制。

## 8.2 机床结构的特征

机床的结构随着数控技术的应用而发生变化，其中以控制坐标数的增加尤为显著。很多自动旋压机能够进行4~7坐标控制，还有10坐标控制的旋压机。图8-2所示的自动旋压机<sup>(1)</sup>有7坐标控制，其中有6坐标联动。

其辅助工具架是随着主工具架受控的，所以能够用于反压轮成形。此外，旋轮相对工件表面的倾角能在成形过程中连续调整，从而获得均匀的光整的工件表面。两个工具架还兼

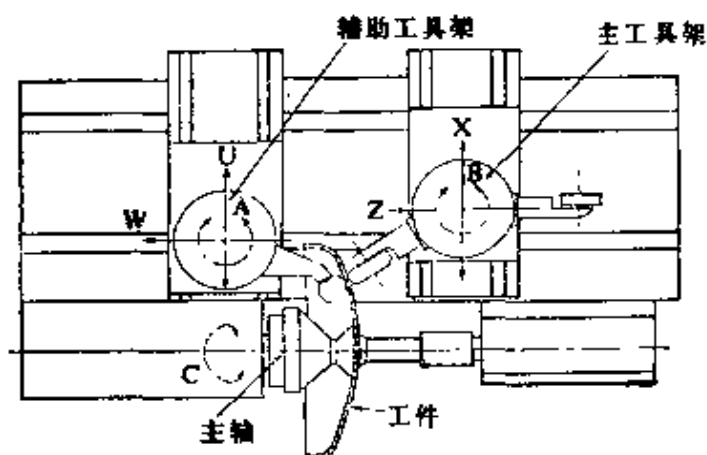


图8-2 七坐标CNC旋压机<sup>(1)</sup>

作工具安装架，通过对A、B两个坐标的控制能够迅速换工具。有的自动旋压机的工具安装架类似于加工中心的转塔<sup>(2)</sup>，一般能够装8~10件旋压工具。

数控旋压机的另一特点就是多采用步进电机和丝杠来驱动控制轴。其主要目的是精确而简便地测出旋轮的位置和速度以提高重复加工精度。位置和速度的实测值与计算机内的程序数据进行比较，并经校准而作为监控数据监控着加工的正常进行。这样将外部的各种传感器与计算机控制技术结合起来，进而能够进行复杂的适应控制。例如，利用旋压力的变动幅度A与皱折高度大致成正比这一实验结果，对成形力进行连续测量并根据A的大小修正旋轮的运动。这项工作已经过了试验<sup>(3)</sup>。如果这种技术获得实际应用，就能对因材料及其批号的不同而导致的破裂和起皱的条

件的变化自动进行捕捉，从而恢复正常的加工。

### 8.3 NC 和 CNC 方式中加工数据的输入

这种系统的概况如图 8-3 所示。系统的核心部分 CPU 一般有小计算机一级的容量和运算能力，具有加工数据的输入、运算和编辑功能，以及对外部传感器送来的数据进行判断、校准和修正的功能。发出指令的方式有两种，即通过信息载体（纸带）向控制器发出指令（脱机控制）和由 CPU 直接向控制器发出指令（联机控制）。系统按这两种情况分为 NC 方式和 CNC 方式。在 CNC 系统中，若把读带机配备在控制器里往往也能进行脱机控制。

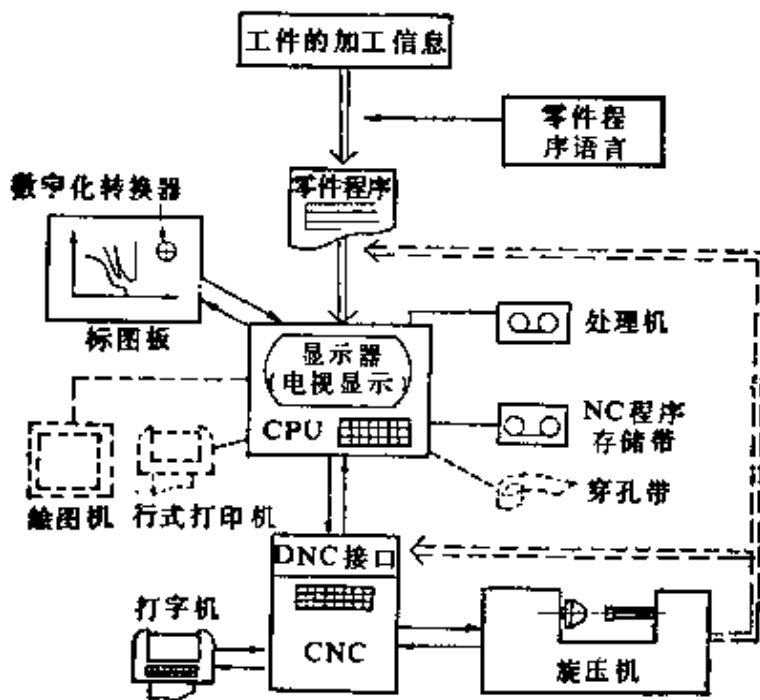


图8-3 CNC方式旋压控制系统(2)

#### 8.3.1 利用数字化转换器输入旋轮道次数据

多个旋轮道次也可以使用所用系统指定的语言（FORTRAN和旋压专用语言），并以零件程序的形式进行输入。在这种情况下，往往只能对道次形状作直线和圆弧逼近。为使输入的旋轮道次具有符合实际加工的形状，研究出一种利用数字化转换器的输

入方法。首先将图纸上的工件外形线和旋轮道次图描在标图板上，图面可以按缩放比例描绘。接着沿描绘的曲线移动数字化转换器，旋轮道次就以一连串X-Z坐标值的形式转换成了数据，并且由盒式磁带或软盘记录下来。除旋轮道次之外的其他成形条件，例如毛坯厚度和工件壁厚、旋轮的形状、进给速度以及主轴转速等，则按照所用语言的格式写入零件程序，并用键盘输入。然后将输入的旋轮道次和成形条件的数据调出到显示器的帧面上，根据成形工序进行改编。在这一阶段，如有必要则可输入卷边和切割等辅助工序的种类和顺序。再用后信息处理机将帧面上编完的一连串加工数据转换成NC数据，并记录在软盘等信息载体上，输入作业至此结束。

数字化转换器的位置读数精度一般是 $\pm 0.1 \sim \pm 0.25 \text{ mm}$ ，这用于精整工序往往是不够的。因此又有如下的一种方法<sup>(4)</sup>，它是高精度轮入芯模的外形线数据，并以此为成形基准的。将旋轮或仿形器轻压在芯模表面上使其沿芯模轴向（Z）移动，把旋轮相对Z向各位置的X向移动量依次读出并存储起来。这样获得一系列X-Z坐标值精确地表示了芯模的外形线。再用工件的壁厚进行数据补偿就成了精整工序的旋轮道次。

### 8.3.2 利用曲线模型输入旋轮道次数据

上述利用数字化转换器的输入方法在输入速度和数据精度方面稍有缺点。这里介绍一种利用曲线模型的输入方法<sup>(5)</sup>。所谓曲线模型是指从已有的成形经验中按使用频度高的顺序选出的一组道次形状，并分别对它们进行三次代数式逼近。程序设计员考虑工件的形状和材料等因素后选出能满足道次的最佳模型，并输入作为旋轮道次数据的标志的模型号。形状复杂的工件的道次数达30~40，所以这种方法对缩短数据输入时间有利。此外道次形状是由数学式严密定义的，故对错距旋压很合适，因为它需要同时对两个以上的旋轮进行控制，使其高度精确地保持相互间的位置关系。

### 8.4 利用 A-D 变换方式的旋压

图 8-1 c 所示的系统就是这种方式<sup>(4,6)</sup>，它采用了微型计算机处理技术。成形步骤大致如下。首先由很熟练的操作者操作操纵杆（图 8-4），使旋轮运动而试制工件。操纵杆的一连串动作被自动地转换成电信号（模拟值），并由控制板内的模数(A-D)变换器转换成数字后输入微处理机。数字化的加工数据最后由盒式磁带或软盘存储。正式制造工件时，将旋轮放在基准位置上，装上磁带或软盘，一按起动按钮就能再现成形，其速度为数据输入时的 3~4 倍。此法与 CNC 方式相比，输入加工数据快而简便，但需要熟练的操作技术因而很难掌握。

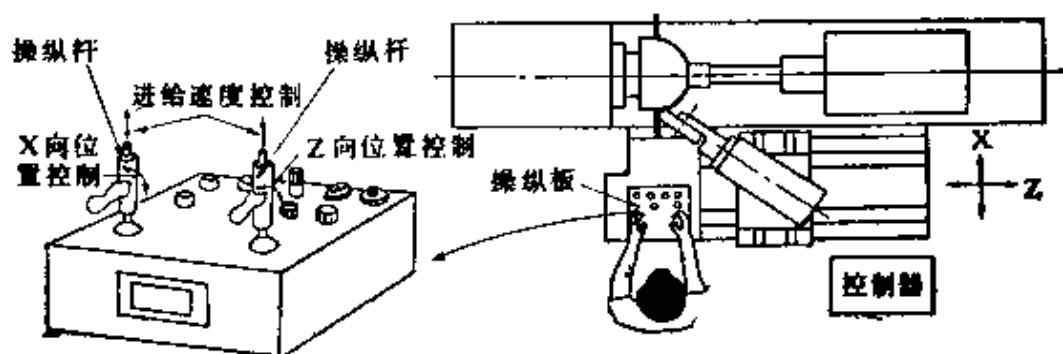


图8-4 A-D变换式自动旋压机

### 8.5 数控旋压技术的研究课题

在旋压机上应用数控技术可以说在一定程度上能收到以下的效果，即缩短准备时间和加工时间，能适应加工条件的变化，提高重复加工精度并能防患事故于未然等。然而其中的某些方面有些新型液压仿形自动旋压机也完全能够达到。此外它们不管采取哪一种控制方式，旋轮道次的确定和输入在很大程度上都要靠操作者的熟练技巧。因此数控自动编程技术将是今后一个重要的研究课题，应做到只按一定的例行程序输入工件的形状、尺寸和材料以及旋轮的形状就能够确定和输入旋轮道次。在这一方面现有的水平只不过是进行试验，发表了一些改进的切削用 APT 和



EXAPT 系统的情况<sup>(7)</sup>。完成旋压自动编程的研究特别需要做如下的工作，就是系统地积累和分析有如本书收录的加工经验，分析熟练操作者确定的旋轮道次形状，以及使旋轮道次通用化和理论化。

### 8.6 日本的标准型自动旋压机的规格示例

关于自动旋压机的概况已经在第二章里作了叙述，下面记载的是日本有代表性的旋压机制造厂家出产的标准型自动旋压机的规格。

#### (1) A 公司的标准型旋压机的规格示例

要 目	型 号	VF-400	VF-650	VF-1000	VF-1300	VF-1500
中心高(床身上)(mm)		250	350	650	750	900
主轴直径 (mm)		100	110	130	220	220
主轴变速级数 (级)		2	4	4	3, 无级	3, 无级
主轴转速 (r/min)		300~1200	600~1800	200~1200	40~800	26~425
床身长度 (mm)		1800	2700	3200	4000	4300
最大毛坯直径 (mm)		400	650	1000	1300	1500
中心距离 (mm)		800	1260	1300	1350	1970
旋轮纵向行程 (mm)		120	300	350	450	600
拖板横向行程 (mm)		250	450	500	600	1000
推力: 旋轮纵向 (kgf)①		1000	2500	4000	5000	11000
拖板横向 (kgf)		1500	3900	6000	8000	12000
尾 顶 (kgf)		600	1600	5000	5500	7000
电动机功率: 主轴用(kW)		3.7	7.5	11	18.5	22
液压系统用(kW)		3.7	7.5	11	11	15
所需电力 (kVA)		12	22	33	44	55
占地面积(长×宽) (m)		1.76×2.6	2.5×4	3.2×4.5	4×5.6	4.5×7.7
重 量 (kg)		2200	4000	8000	13000	15000
可成形的毛坯厚度 (mm)						
铝		3.2	5	8	8	12
普通冷轧钢板		2.6	3.2	4.5	4.5	7
不锈钢		1.5	2	3	3	5

① 1kgf = 9.80665N, 下同。

## (2) B公司的标准型旋压机的规格示例

要 目	型 号	US-500 J	US-500	US-800	US-350	US-1000
		中心高(床身上) (mm)	225	350	500	225
主轴直径 (mm)	80	92~110	120	80	150	
主轴变速级数 (级)	4	无级	无级	4	无级	
主轴转速 (r/min)	250~2000	100~1800	160~1000	250~2000	200~8000	
床身长度 (mm)	920	500	2500	—	—	
最大毛坯直径 (mm)	430	600	900	400	1000	
中心距高 (mm)	420	720	650	450	1400	
旋轮纵向行程 (mm)	130	180	230	130	300	
拖板横向行程 (mm)	300	350	550	300	900	
推力: 旋轮纵向 (kgf)	900	1500	3000	900	3000	
拖板横向 (kgf)	900	1500	3000	700	3000	
尾 顶 (kgf)	900	1500	3000	900	3000	
电动机功率: 主轴用 (kW)	3.7	7.5	15~22	3.7	15	
液压系统用 (kW)	1.5	3.7	7.5	1.5	7.5	
所需电力 (kVA)	8	16	26~40	8	26	
占地面积(长×宽) (m)	2.3×1.6	3.7×2.2	4×2.8	1.4×0.85	2.3×2	
重量 (kg)	1500	4000	6000	1500	7000	
可成形的毛坯厚度 (mm)						
铝	3	5	12	3	7	
普通冷轧钢板	1.6	3.2	7	1.6	4.5	
不锈钢	1.2	2.2	4.5	1.2	3.2	

## (3) C公司的标准型旋压机的规格示例

要 目	型 号	SF-1000	SF-1000E	SF-1000H	SF-2000
		中心高(床身上) (mm)	390	565	390
主轴直径 (mm)	130	130	130	220	
主轴变速级数 (级)	8	8	8	8	
主轴转速 (r/min)	37~900	37~900	30~755	11~415	
床身长度 (mm)	2600	2600	2600	落地式	
最大毛坯直径 (mm)	1000	1200	1000	2000	
中心距高 (mm)	1100	1100	1100	1500	
旋轮纵向行程 (mm)	260	260	260	400	