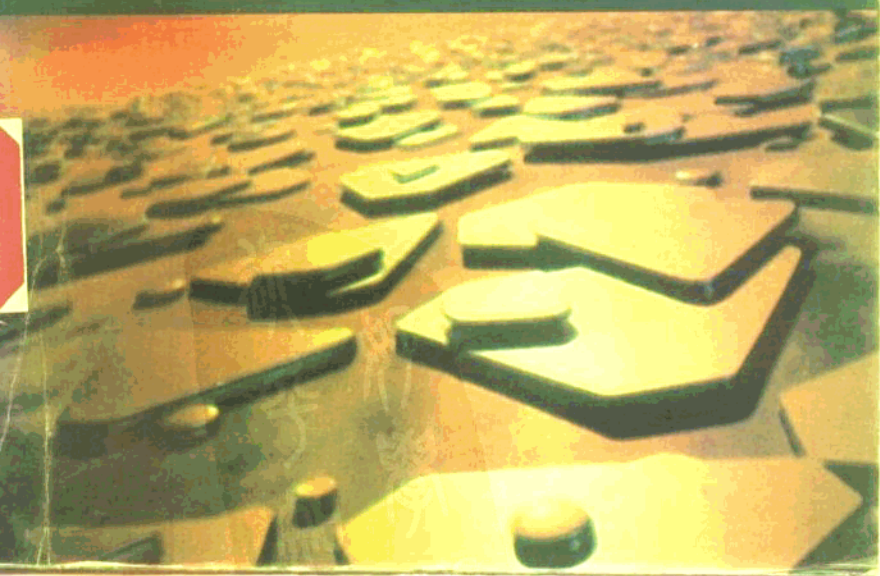


● 吕雪山 王先进 苗延达 合著

薄板成形与制造

● 中国物资出版社



薄板成形与制造

吕雪山 王先进 苗延达 合著

中国物资出版社

TG386.41

(京)新登字 090 号

薄板成形与制造

吕雪山 王先进 苗延达合著

*

中国物资出版社出版
全国各地新华书店经销
北京宏伟胶印厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 16.5 字数: 371 千字

1993 年 9 月第 1 版 1993 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1—3000 册

ISBN7—5047—0468—7/TG·0015 定价: 10.25 元

内 容 简 介

本书分薄板成形工艺、薄板成形失效分析、薄板成形汇场仿真、薄板制造基础和薄板表面工程五个部分。

本书适合于作为冶金类、汽车制造类以及轻工制造类的压力加工专业教材和企业工程技术人员进修教材，也适合于其它各类有关专业学生、工程技术人员与研究人员参考。

前 言

目前世界人均薄钢板消费量为 50 公斤，发达工业国家达 200 公斤，而我国仅 10 多公斤。根据发达工业国家走的道路，可以看到，我国薄钢板消费量正处于急剧上升的时期，按照 2000 年发展规划，到 2000 年时，我国的冷轧和热轧薄钢板生产将从现在的 1000 万吨增长到 2600 万吨。大批薄钢板将经过冲压成形和冷弯成形用于实际消费，因此薄钢板的成形技术起着越来越重要的作用。

美国在 1967 年，薄钢板产量为 4500 万吨，销售总值为 60 亿美元，而由薄钢板制造的产品销售总值达到 700 亿美元。即每亿美元的薄钢板，经过成形制造的成品开发创造出了 12 美元附加价值。到 2000 年时，我国年产薄钢板 2600 万吨，总销售额按每吨平均 3500 元币算为 910 亿元币，按薄板深加工所创造的价值计其制品销售总额将可达约 10920 亿元币。这个数字意味着，2000 年时我国薄钢板制造产品销售总额将为 12 亿人口中国的每一个人每年带来 910 元币。这无疑对我国的经济建设和民族振兴有着巨大的经济意义和深远的战略意义。

薄钢板成形产品易于达到现代产品设计的要求，把技术美学和产品使用要求结合于一体，这对促进民族工业的发展有着极大的技术意义。

现代市场要求薄钢板成形件结构最优化、品种多样化。市场需求的日益变化，需要成形加工生产的快速适应，这一

切促使薄钢板成形加工走向材料综合、过程综合和技术综合为特征的技术系统，这是一个板材加工技术与材料冶金技术相结合，板材系统工程化和工程科学化的过程。为适应这一发展趋势，冶金行业需要研究与学习薄钢板成形技术，以为用户开阔使用薄钢板的途径，促进薄钢板的高效、经济使用，满足用户需要；制造行业需要把薄钢板的冶金制造基础及表面工程与薄钢板成形工艺结合起来研究学习，以能科学选材，充分使用薄钢板的性能和效能，降低薄钢板制造产品的成本，提高薄钢板制造产品的质量，有效地满足社会消费薄板化的需求。

本书正是为迎接我国钢铁工业和制造工业的发展，满足上述两个方面的需求，在作者为北京科技大学压力加工专业本科《薄板成形工艺原理及应用》课程编著的讲稿和为北京时代日用器械公司《薄钢板成形技术》工程师研修班编著的讲稿的基础上，结合作者多年来的科研成果及国际上最新的薄板成形技术进展重新编著而成。全书由吕雪山主著，北京科技大学唐荻副教授参加了第七、十二、十三和十四章的编著工作，王克智教授参加了第十四章的编著工作。

著 者

1992年10月于北京

目 录

第一部分 薄板成形工艺技术

第一章 薄板成形技术概论	(1)
第一节 薄板成形技术的发展	(1)
第二节 薄板成形方式与应变状态	(5)
第三节 薄板成形性能的概念	(11)
第四节 薄板成形系统工程与科学体系	(12)
第五节 薄板成形技术系统	(15)
 第二章 薄钢板基本冲压工艺——冲裁	(23)
第一节 冲裁过程分析	(26)
第二节 冲裁模间隙	(32)
第三节 凸模与凹模刃口尺寸的确定	(38)
第四节 冲裁力和功	(41)
第五节 精密冲裁	(45)
第六节 整修	(54)
 第三章 薄钢板基本冲压工艺——弯曲	(58)
第一节 弯曲成形原理	(58)
第二节 最小相对弯曲半径	(67)
第三节 弯曲回弹	(70)
第四节 拉弯	(78)

第五节 卷边	(84)
第六节 弯曲障碍	(91)
第四章 薄钢板基本冲压工艺——拉深	(101)
第一节 圆筒件拉深原理	(102)
第二节 圆筒件拉深性能	(117)
第三节 圆筒件再次拉深	(127)
第四节 矩形盒拉深原理	(135)
第五节 矩形盒的拉深性能	(141)
第六节 矩形盒拉深的壁部破裂	(144)
第七节 矩形盒的毛坯设计	(147)
第八节 椭圆筒形件拉深	(156)
第九节 不规则件拉深	(160)
第十节 凸缘起皱	(168)
第十一节 拉深载荷	(174)
第十二节 拉深成形障碍	(178)
第五章 薄板基本成形工艺	(191)
第一节 拉胀	(191)
第二节 翻孔	(198)
第三节 翻边	(203)
第四节 局部成形	(206)
第五节 旋压	(214)
第六节 旋薄	(217)
第六章 薄钢板成形缺陷	(230)

第七章 薄板成形中的摩擦与润滑	(250)
-----------------------	-------

第二部分 薄板成形失效分析技术

第八章 薄板成形失效分析技术	(265)
----------------------	-------

第一节 网格技术	(265)
----------------	-------

第二节 成形性能分析	(271)
------------------	-------

第三节 网格技术及成形性能分析的应用举例	(291)
----------------------------	-------

第四节 网格技术及成形性能分析应用小结	(309)
---------------------------	-------

第五节 成形件表面应变自动测量技术简介	(317)
---------------------------	-------

第三部分 薄板成形过程计算机仿真技术

第九章 薄板成形过程计算机仿真技术概述	(328)
---------------------------	-------

第一节 过程仿真理论方法评述	(331)
----------------------	-------

第二节 汇场模拟的提出	(337)
-------------------	-------

第十章 薄板成形件毛坯模拟	(348)
---------------------	-------

第一节 薄板成形件毛坯模拟概述	(348)
-----------------------	-------

第二节 毛坯外形汇场模拟技术	(349)
----------------------	-------

第三节 毛坯外形网格—滑移线混合模拟技术	(362)
----------------------------	-------

第十一章 薄板成形过程汇场仿真理论简介	(371)
---------------------------	-------

第一节 成形过程汇场仿真原理	(371)
----------------------	-------

第二节 成形过程汇场仿真离散	(373)
----------------------	-------

第三节 支持系统及仿真举例	(375)
---------------------	-------

第四部分 薄板制造技术

第十二章 薄钢板制造基础	(379)
第一节 薄钢板生产工艺流程	(379)
第二节 成形性与金属学因素间的关系	(383)
第三节 现代薄钢板生产的工艺原理和技术进步 ...	(390)
第十三章 成形用钢板及其生产技术	(416)
第一节 现代汽车用钢板的性能要求	(416)
第二节 现代汽车用钢的品种	(417)
第三节 搪瓷工业用钢板	(442)

第五部分 薄板表面工程技术

第十四章 成形钢板的表面工程	(460)
第一节 钢板表面特性	(460)
第二节 钢板表面形态与冶金因素的关系 ...	(469)
第三节 钢板的腐蚀与防护技术	(477)
主要参考文献	(517)

第一部分 薄板成形工艺技术

第一章 薄板成形技术概论

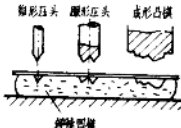
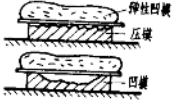
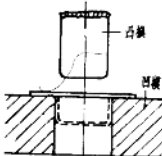
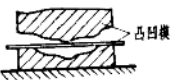
第一节 薄板成形技术的发展

薄板成形包括所有的将金属平板加工成为具有立体型腔的成形方法及具有一定外形轮廓的剪切或冲裁方法。薄板成形过程中，成形件壁厚平均来说，基本不变，薄板本身的生产方法属于体成形。

根据考证资料表明：最早的薄板成形出现于公元前4000年，那时是板金工匠的手工敲打（表1—1a）；到公元前1500年左右，这一手工敲打已发展到能使用简单的模具（表1—1b）；对薄板进行整体压制，则是出现于公元前约1400年（表1—1c）；圆杯件拉深约在公元1500年出现于瑞士（表1—1d）；压印工艺约出现在公元前600年，但使用模具的拉延（拉深+胀形）却是从公元1500年起才开始经常使用（表1—1e）。深筒零件在中古时期作为顶针及在18世纪以后作为弹药筒或子弹壳而大量生产出来。在这两种情况下的深筒零件，都是使用多组凹模成形出来的。什么时候

在什么地方开始使用压边圈的(图1—1),已无从考证,不过1808年在英国专利中已出现压边圈,1848年已在法国被用来生产薄管。

表 1—1 薄板成形的早期发展

成形方法	示意图	第一次应用
a) 手工敲打		公元前 4000 年末在埃及用于制造铜容器和金器皿
b) 模具成形 (模压)		这一描述出现在 Rech mi Re 地方出土的公元前约 1450 年的坟墓中
c) 压制技术(使用压力进行整体成形)		出现在 My kene 和 Knossos 公元前约 1400 年的壁画上。
d) 圆杯拉深		于 1500 年前后出现在瑞士, 顶针出现于 1568 年。
e) 拉延		压印约出现在公元前 600 年, 经常使用是从公元 1500 年开始。

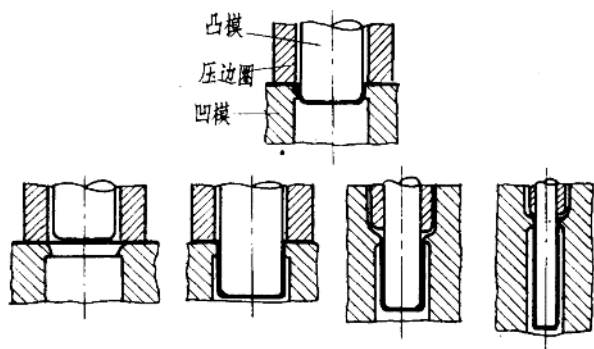


图 1—1 使用压边圈和多组凹模的拉深

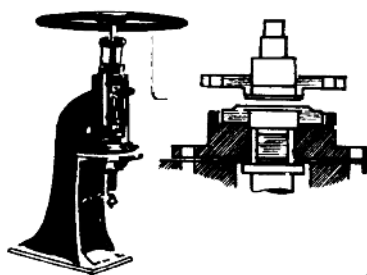


图 1—2 手动曲柄压力机

图 1—2 所示的是 1848 年出现的手动曲柄式压力机，这种压力机当时被用来对薄板进行剪切或冲裁。可以认为，这

是薄板成形的第一块里程碑，它标志着机械式薄板成形的开始。1879 年 Adamso 研究了碳钢及铁的机械性能，并提出了扩孔实验的单拉实验，随后各种成型工艺及模拟实验相继出现，薄板成形从手工作坊走向了工厂，大多数手工工具被大型模具及机器所取代，劳动生产率得到了空前的提高。特别是 1913 年第一个薄钢板汽车车身制造成功以来，薄板成形得到了空前的发展，逐步从一种手工工艺变成了一门工程技术。图 1—3 描述了二次大战前期大型薄板成形件生产从手工工艺向成形技术的过渡过程。

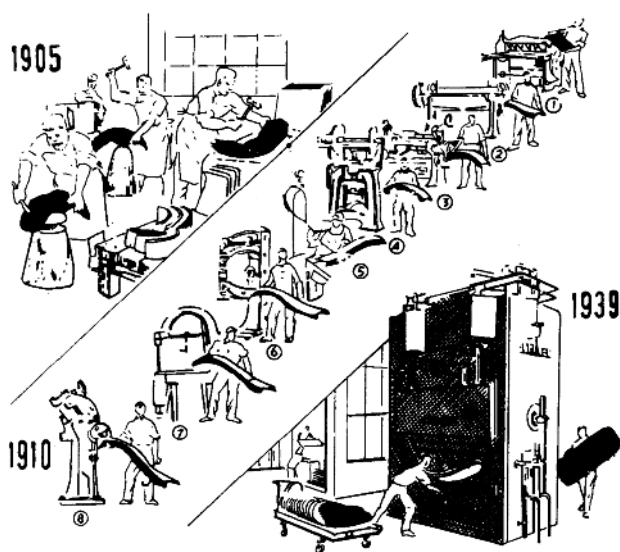


图 1—3 汽车乙字板成形生产技术的进展

二次大战后的 1949 年, Iankbord 等提出并测定薄板的硬化指数 n 值及塑性应变化 r 值, 指出胀形能力由 n 值反映, 拉深能力由 r 值反映, 使得成形前可预测薄板的成形性能。Gensamer 在 1945 年提出的用最大最小应变值 $\varepsilon_1 \sim \varepsilon_2$ 表达成形极限的概念于 1965 年由 Keeler 变成了现实; Sroibt、Hill、Machiniak 等人相继提出了预测成形极限应变的理论。Sachs、Siekel、Kienzel、Fukui、Duncan 等人进行了大量关于计算成形应变、应力、成形过程参数理论方法的研究及大量的关于成形过程参数的实验研究与测定工作。薄板成形因此部分地起向了实验工程学与数学力学及金属材料学相结合的科学领域, 薄板成形方法被按照“拉—压”类、“拉”类及“弯曲”类进行分类并制定出国家标准 (DIN8584、DIN8585、DIN8586), 成形生产实现了复杂的多种薄板成形方法的组合。

计算机科学的发展, 特别是计算机仿真技术的出现已引起薄板成形的第三次飞跃发展。这个时期可以认为起始于本世纪 70 年代实验成形性分析和实验变形力学分析难以在复杂成形件或新产品开发及新材料使用的时期, 它将把板料成型推向成为一个材料综合、技术综合和过程综合的科学领域。板材成形在这次飞跃发展时期的标志是薄板成形计算机辅助工程 (CAE) 和薄板成形智能制造系统 (CIMS)。计算机辅助毛坯设计、计算机辅助成形性能分析和计算机辅助成型工艺优化是这一时期的几个核心内容。

第二节 薄板成形方式与应变状态

薄板成形工艺包括: 冲裁、弯曲、拉深等基本冲压工

艺；胀形、翻边、扩孔、局部成形、旋压旋薄等基本成形工艺；爆炸成形、吹塑成形、喷丸成形等高能成形工艺和特种成形工艺；冷弯型钢工艺等。冲压成形是板成形最主要的工艺过程。

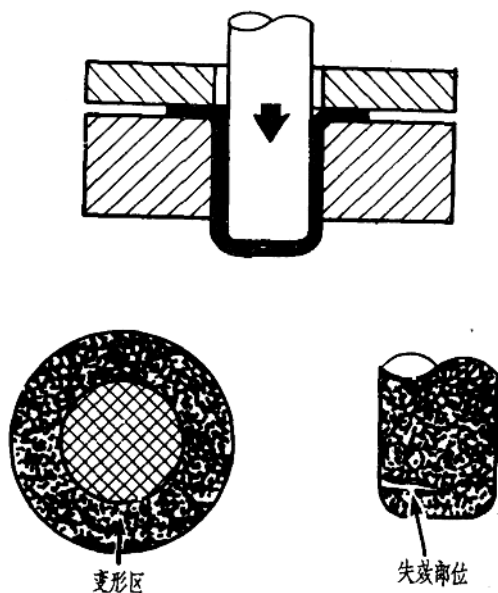


图 1—4 拉深成形在这类加工中，板坯的外边缘没有固定，凸缘被拉入凹模内形成平底杯。杯底金属没有变形。断裂常在靠近杯底的杯壁处发生。

冲压过程中，金属薄板的边部由压边圈夹持，由凸模和

凹模的共同作用，使薄板板料向凹模移动产生塑性变形，将平板加工成所需形状的零件，如图 1—4 和图 1—5 所示的拉深成形和胀形成形例子所示。金属板料向凹模的移动量由压边圈之间的压力大小所控制。

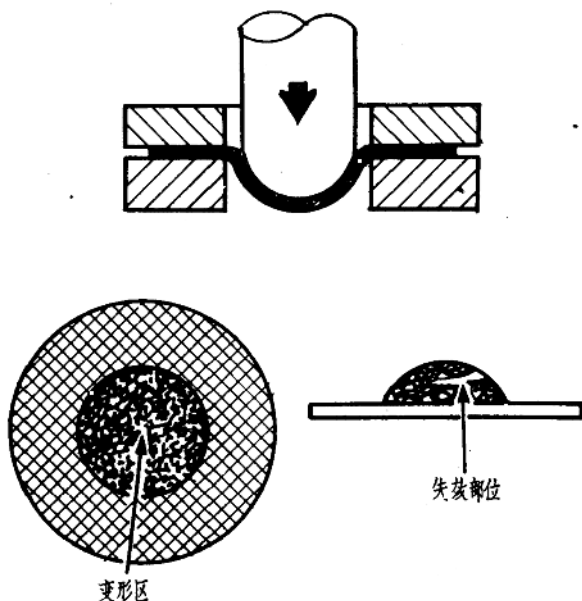


图 1—5 胀形成形。这里圆形板坯的边缘被牢牢紧固，只有冲头区域的金属变形。断裂可以在各处发生，这取决于材料和成型条件。

1. 冲压工艺的基本成形方式

实际零件的冲压过程就其成形方式而言可能是多种方式