

金属材料的 冷弯成形加工

张瑞平 著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

金属材料的冷弯成形加工

张瑞平 著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

作者结合自己多年的教学科研工作并参考了冷弯成型的相关资料,编写了这本《金属材料的冷弯成形加工》。本书在编写过程中遵循“系统、专业、实用”的原则,理论联系实际,介绍了多种冷弯成形方法,包括原始的手工成形到最新的柔性加工。同时,本书对大同市工业攻关科技项目“对称式三辊卷板机预弯装置的研制”做了设计说明和总结。

本书可供从事金属加工的技术人员、操作人员和相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料的冷弯成形加工 / 张瑞平著. —北京:
中国铁道出版社, 2011. 6

ISBN 978-7-113-13067-1

I. ①金… II. ①张… III. ①型材冷弯轧制 IV.
①TG335.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 165204 号

书 名: 金属材料的冷弯成形加工

作 者: 张瑞平 著

策划编辑: 李小军

读者热线: 400-668-0820

责任编辑: 李小军 邓 静

封面设计: 付 巍

封面制作: 白 雪

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.tdpress.com>, <http://www.edusources.net>.

印 刷: 中国铁道出版社印刷厂

版 次: 2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

开 本: 700mm×1 000mm 1/16 印张: 11.5 字数: 233 千

书 号: ISBN 978-7-113-13067-1

定 价: 28.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社教材图书营销部联系调换。电话: (010) 63550836

打击盗版举报电话: (010) 63549504

前 言

随着科学技术的不断发展和进步，冷弯成形产品在工业生产、日常生活中得到越来越多的使用，在汽车、建筑、管道、家居用品中随处可见。大件如建筑屋顶、门窗、汽车的骨架、车身以及各种输送管道，小件如货架、电器产品、文具等。面对冷弯产品不断增长的需求，冷弯技术也在高速发展，但是专业的、系统的冷弯成形的相关资料并不很多，从专业角度去了解、阐述这些产品的加工过程的专业书籍也鲜见不多。

由于冷弯技术涉及塑性力学、金属材料学、机械制造工艺学等多门学科，而且随着计算机技术、数控技术逐步应用到冷弯技术中，冷弯成形的理论和实践的研究都需要进一步深入和提高。本书由山西大同大学基金资助，对大同市工业攻关科技项目“对称式三辊卷板机预弯装置的研制”作了设计说明和总结。在此基础上，作者收集了冷弯成形的相关资料，并结合自己多年的教学科研工作写了这本《金属材料的冷弯成形加工》。本书在编写过程中遵循“系统、专业、实用”的原则，理论联系实际，介绍了多种冷弯成形方法，包括原始的手工成形到最新的柔性加工技术。

希望本书介绍的有关冷弯成形的知识，可以为从事该行业的技术人员、操作者、专业院校的师生提供一点帮助。

本书由山西大同大学工学院教师张瑞平所著。在写作过程中，得到山西大同大学武维承教授和工学院机电研究所武熙教授的大力支持和帮助，在此表示感谢！同时也对在卷板机预弯装置的加工试验过程中，给予大力帮助的好友冯胜刚表示感谢！

由于作者水平有限，书中难免存在不当之处，恳请广大读者批评指正。

著 者

于山西大同

2011年3月

目 录

第 1 章 塑性弯曲成形概述	1
1.1 塑性加工的特点	1
1.2 塑性弯曲加工的分类	2
1.3 弯曲加工的技术现状及发展趋势	3
第 2 章 金属材料塑性加工理论	8
2.1 金属材料的塑性	8
2.2 点的应力状态	12
2.3 点的应变状态	13
2.4 金属的塑性变形过程和屈服条件	15
2.5 塑性变形时应力与应变的关系	18
2.6 变形抗力与加工硬化	20
第 3 章 板料的滚弯	23
3.1 滚弯的原理特点及设备发展	23
3.2 卷板工艺分析及其基本理论	31
3.3 三辊卷板机	37
3.4 四辊卷板机	48
3.5 两辊弯曲	52
3.6 卷板工艺参数的应用	55
3.7 滚弯的操作及注意事项	59
3.8 滚弯的外形缺陷	62
3.9 锥形件的滚弯	63
第 4 章 筒形件直边的处理	66
4.1 剩余直边的形成	66
4.2 消除直边的方法概述	69
4.3 在专用预弯机上弯曲	71
4.4 利用预弯模消除圆筒体直边	73
4.5 三辊卷板机不预弯卷圆的工艺方法	76
4.6 双曲率成形工艺消除直边	77
4.7 对称式三辊卷板机配套预弯装置的设计	80
4.8 板料预弯机的结构设计	93
4.9 预弯机的实体结构	105
第 5 章 板料的压弯	107
5.1 压弯的变形特点及回弹	107
5.2 最小弯曲半径	111
5.3 弯曲件坯料尺寸和弯曲力的计算	113

5.4	弯曲工艺及工序安排	115
5.5	弯曲模的设计	117
5.6	压弯的操作及注意事项	122
第6章	折弯	126
6.1	折弯的种类	126
6.2	折弯工艺	127
6.3	折弯设备	129
6.4	提高折弯机折弯精度的措施	132
6.5	折弯机的发展趋势	135
第7章	型材管材的弯曲	136
7.1	弯曲加工的方式	136
7.2	横断面形状和壁厚的变化	137
7.3	型钢的滚弯	139
7.4	型钢的绕弯	140
7.5	型材弯曲过程易产生的缺陷和问题	141
7.6	弯管	142
7.7	拉弯	146
第8章	冷弯成形轧机简介	152
8.1	冷弯成形轧机的生产特点及应用	152
8.2	冷弯成形轧机的组成	153
8.3	辊弯成形设备的分类	154
8.4	国内外辊弯成形技术发展现状及趋势	160
第9章	手工成形	162
9.1	板料手工弯曲成形	162
9.2	型钢手工弯曲	165
9.3	圆管手工弯曲	166
9.4	收边	167
第10章	金属材料的冷弯特性	169
10.1	合理选材	169
10.2	金属材料的最小弯曲半径	170
10.3	钢铁材料的冷弯特性	171
10.4	非铁金属的冷弯特性	174
参考文献		176

第 1 章

塑性弯曲成形概述

金属材料的塑性加工是利用材料的塑性,在外力作用下使其发生塑性变形,得到一定形状、尺寸和性能的一种无切削加工方法,又称金属材料的塑性成形或压力加工。

金属材料在外力作用下的变形分为弹性变形和塑性变形,弹性变形的过程是可逆的,在外力撤销后可以恢复到原来的状态。塑性变形是永久变形,工件的形状、尺寸、性能都会发生变化。

利用金属塑性加工的方法,不但能获得强度高、性能好、形状复杂和精度高的工件,而且具有生产率高、材料消耗少的优点。在航空航天、汽车制造、电器、日用品等方面得到广泛的应用。根据加工时工件的受力和变形方式,基本的塑性加工方法有锻造、轧制、挤压、拉拔、拉深、弯曲、剪切等几类。

1.1 塑性加工的特点

金属塑性加工与金属铸造、切削、焊接等加工方法相比,有以下特点:

(1)金属塑性加工是在金属整体性得到保持的前提下,依靠塑性变形使物质发生转移来实现工件形状和尺寸变化的,不会产生切屑,因而材料的利用率高得多,是属于“无切削加工”。

(2)在塑性加工过程中,除尺寸和形状发生改变外,金属的组织、性能得到改善和提高,尤其对于铸造坯料,经过塑性加工将使其结构致密、粗晶破碎细化和均匀,从而性能提高。此外,塑性流动所产生的流线也能使其性能得到改善。

(3)塑性加工过程便于实现生产过程的连续化、自动化,适于大批量生产,因而劳动生产率高。

(4)塑性加工产品的尺寸精度和表面质量较高。

(5)塑性加工所需设备较庞大,初期投资成本高,能耗较高。

金属塑性加工由于具有上述特点,不仅原材料消耗少、生产效率高、产品质量稳定,还能有效地改善金属的组织性能。这些技术上和经济上的独到之处和优势,使它成为金属加工中极其重要的手段之一,因而在国民经济中占有十分重要的地位。如在钢铁材料生产中,除了少部分采用铸造方法直接制成零件外,钢总产量的 90% 以上和有色金属总产量的 70% 以上,均需经过塑性加工成材,以满足机械制造、交通运输、电力电

信、化工、建材、仪器仪表、航空航天、国防军工、民用五金和家用电器等部门的需要,而且塑性加工本身也是上述许多部门直接制造零件经常采用的重要加工方法,如汽车制造、船舶制造、航空航天、民用五金等部门的许多零件都须经塑性加工制造。因此,金属塑性加工在国民经济中占有十分重要的地位。

1.2 塑性弯曲加工的分类

金属材料的塑性弯曲加工是指利用金属材料的塑性对其进行弯曲加工,就是对金属板料或管材、型材等施加外力,使其弯曲到一定的形状和尺寸,发生永久变形而获得所需工件的一种无切削加工方法,如板料的圆弧加工、型钢、圆管的角度弯曲等。一般塑性弯曲加工指的是冷塑性加工,即在金属材料再结晶温度下进行的加工,所以也可称为冷弯成形加工。

常规的弯曲工艺从成形原理上讲,主要分为两类:一类是依靠各类工具、模具的形状成形,如拉弯、绕弯、折弯、压弯等;另一类是运动成形,即靠工具、模具和工件之间的相对运动成形,比如滚弯、成形轧机弯曲等。

1. 拉弯

拉弯是最常用的一种弯曲方法,常用于型材、管材的弯曲加工。拉弯可以得到小的弯曲半径,弯曲角也可以达到 180° 以上。而对于一些弯曲半径较大的条状或型材工件,因为在弯曲中常常处于弹性变形状态,随时会出现反弹,用普通的弯曲方法不易成形,因此常采用拉弯的方法加工。图 1.1 所示为在转臂式拉弯机上进行的管材的拉弯。

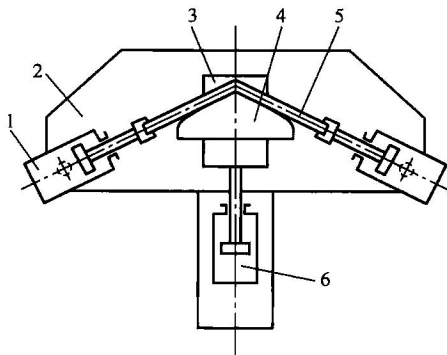


图 1.1 拉弯

1、6—油缸;2—工作台;3—固定凹模;4—拉弯模;5—工件

2. 压弯

压弯是用压力机或弯板机进行的板料弯曲,需要根据工件的形状、尺寸制定模具,使用比较广泛。其中最简单的形式是用一个固定凹模和一个活动凸模进行弯曲,如图 1.2 所示。板材、型材、管材的弯曲多用这种成形方法。

3. 折弯

折弯是用沿着固定模具周边移动的压弯工具,一边将材料压在固定模具圆角部分,同时又使其贴合在一起的弯曲方法,如图 1.3 所示。管材、板材、线材的弯曲常用这种成形方法。

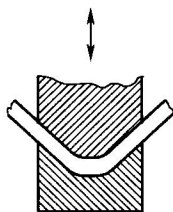


图 1.2 压弯

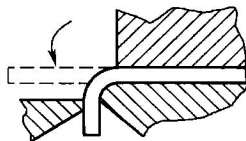


图 1.3 折弯

4. 滚弯

滚弯是用二至四个辊或者多个成形辊在送进板料的同时做连续弯曲,用辊子的回转运动来实现板材的弯曲变形,如图 1.4 所示。与压弯和折弯相比,滚弯的弯曲半径较大,制件的曲率相等(同一截面的曲率),所以被广泛用于筒形或锥形件的弯曲加工。

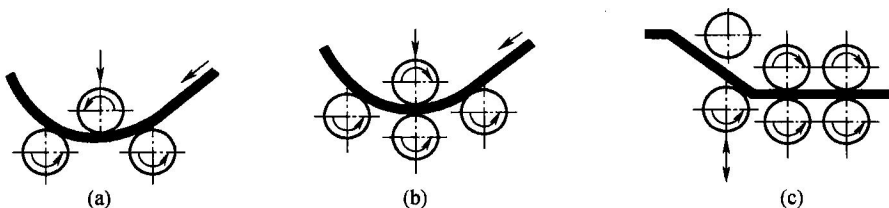


图 1.4 滚弯

1.3 弯曲加工的技术现状及发展趋势

以各种板材、型材、管材等为毛坯,通过塑性加工手段,制造各种零件的这种工艺方法,由于易于实现产品的轻量化、强韧化和满足低耗高效、精确制造等方面的要求,并能获得形状复杂的制品,因此已成为先进加工技术研究与发展的一个重要方向。用塑性加工方法制造的弯曲零件,无论是平面弯曲件,还是空间弯曲件,应用涉及的领域有建筑、化工、矿山、汽车制造、农业机械等,除了大量用于气体、液体的输送管路外,在金属结构件中的应用也十分广泛。因此,金属材料弯曲成形研究是备受关注并得到迅速发展的重要领域之一。

1.3.1 弯曲成形的理论研究

弯曲成形的理论研究是随着塑性力学在金属塑性加工中的应用而发展起来的。塑

性力学的形成可追溯到 1864 年法国工程师屈雷斯首次提出的最大剪应力屈服准则。最早将塑性力学应用于金属塑性加工的是德国学者卡尔曼,他在 1925 年用初等解析法建立了求解轧制压力分布的应力微分平衡方程;此后不久,萨克斯和齐别尔在研究拉拔时提出了类似的求解方法——平截面法,即通常所谓的工程法或主应力法。此后,人们对塑性加工过程的应力、应变和变形力的求解逐步建立了许多理论求解方法,如 20 世纪中期建立的滑移线法是研究平面变形问题的一种重要解析方法,20 世纪 50 年代发展起来的变形功平衡法,特别是极值法(含上限法和下限法)在 20 世纪 70 年代后得到了广泛应用。随着电子计算机及计算技术的发展,数值计算方法(如塑性有限元法)得到了飞跃发展,近年来得到了广泛应用。

金属塑性加工材料学是运用物理冶金原理对塑性变形过程中金属组织性能的变化规律进行研究。其中位错理论的提出,解释了金属塑性变形过程的许多现象,如滑移、孪晶、加工硬化、回复、再结晶和金属的断裂等,使人们对金属塑性变形的微观机理有了科学的认识。同时,研究表明,金属塑性和断裂过程的物理本质和金属塑性的状态属性,不仅取决于金属材料本身,而且决定于材料所处的状态(如温度、速度条件和力学状态条件等)。从而加深了对塑性变形过程材料塑性及变形抗力变化规律的认识,了解了不同金属材料的组织结构和性能变化与塑性变形条件的关系;为合理选择塑性加工工艺条件,保证塑性加工的顺利进行,并通过变形手段来改善组织结构,为获得所需使用性能的金属材料提供了理论依据;同时为改进和开发新的塑性加工工艺,提高产品质量指明了方向,开辟了新的途径。

目前很多学者对金属材料在变形过程中出现的回弹、起皱、破裂以及截面和壁厚的变化等做了研究,这些问题也是包括弯曲成形在内的工程界未能有效解决的技术难题,是当今国内外塑性加工学科研究的难点和热点。对金属材料弯曲过程分析所采用的理论包括:梁弯曲理论、有限应变理论、板壳理论、能量原理、分叉理论以及假设将模具由平面变为曲面的弯曲变形理论。由于影响材料弯曲成形的因素多而复杂,上述分析均建立在大量假设基础上。这些基本假设包括:平截面假设、材料匀质假设、各向同性假设和体积不变假设。通过理论解析对弯曲过程进行定性分析是可行的,定量分析的精度则有限,但仍可为生产实际和数值模拟分析提供一些先期指导。

1.3.2 弯曲过程的有限元数值模拟研究

有限元法与其他模拟方法相比,模拟精度高,信息丰富,并能考虑多因素的影响,是一种可靠性高的工艺设计方法,适用于对成形过程的精密模拟。近年来,随着计算机技术和有限元技术的逐步发展,有限元法在塑性弯曲成形中逐步得到应用,并且可以在成熟的有限元分析软件基础上进行二度开发和应用。

采用有限元法进行分析,对弯曲加工过程进行仿真已得到越来越广泛的重视。例如采用有限元分析软件 ANSYS 对厚壁圆管材弯曲工艺进行数值模拟分析,可获得外壁减薄率和内壁增厚率、应力应变分布等信息,并比较不同的相对弯曲半径对壁厚减薄

的影响;对三辊卷板机的滚弯过程进行仿真分析,可得到上辊压下量与曲率半径之间的关系;此外,通过有限元法可分析金属材料在弯曲过程中,变形条件与材料性能对回弹、破裂、截面变形等缺陷的影响,并通过实验比较,为合理制定弯曲工艺提供依据。

目前,尽管金属材料弯曲成形的数值模拟研究并不完善,采用商用软件进行模拟,也只是针对热弯、纯弯曲、均匀弯曲分析较多,对冷弯、受力复杂以及数控弯曲的研究较少,但它已显示了无比的优越性和强大的生命力。相信随着计算机辅助工艺设计在弯曲成形中的应用,开发一个工艺设计系统,包括弯曲方式的选择、工具模具的设计、过程参数的设置等,不依赖经验公式,并具有变形预报和验证模型,可以在设计阶段对设计结果进行检验及修改的优秀计算机辅助工艺设计系统,必将对金属材料的弯曲加工有着积极而深远的意义。

1.3.3 弯曲工艺及弯曲装备的研究与改进

对金属材料弯曲工艺及工具、模具结构进行研究和改进,提高弯曲成形精度和质量一直是工程技术人员所追求的目标。如对冲压模的结构改进,三辊卷板中减少直边的工艺改进等,已经有了很多尝试,并取得很好的效果。此外,也出现了更先进的弯曲方法,发展了新的弯曲工艺,如柔性滚弯成形、激光弯曲等。

1. 双轴柔性滚弯

与常规滚弯不同的是,双轴柔性滚弯只有两个辊,一个刚性辊和一个柔性辊,如图 1.5 所示。工件与柔性辊为面接触,这样就避免了常规滚弯中直边的产生。当刚性辊直径一定时,滚弯出的工件曲率随刚性辊的进给量的增大而增大,但进给量超过某一临界值后,曲率将不再增大,并达到一个极限值,这成为柔性滚弯技术的重要特征。极限曲率和材料的性能、尺寸以及刚性辊的直径有关。

2. 柔性垫弯曲

柔性垫弯曲是一种先进的高度柔性弯曲方法,其工艺原理如图 1.6 所示,为单轴柔性滚弯工艺。与传统的弯曲方法相比,该方法生产的弯曲件具有强度高、重量轻、表面质量好、成本低等优点。采用这种工艺弯曲时,利用压辊将坯料压入到超弹性的柔性垫中,利用柔性垫对坯料包容产生的弯矩实现型材的弯曲。通过调节压辊的压入深度和坯料的水平位移,可以得到具有不同曲率半径的型材弯曲件,特别适用于航空航天及汽车工业中小批量甚至单件零件的生产。

3. 激光弯曲

激光弯曲成形是一种新型金属板材柔性成形技术,是一种无模具、无外力的非接触式热态积累成形技术,是利用高能激光束扫描金属板材表面时形成的非均匀温度场导致的热应力来实现塑性变形的工艺方法。与传统成形工艺相比具有显著优势,生产周期短、柔性大、精度高。当激光束相对于板料的运动轨迹为直线时,便得到 V 形弯曲件;当运动轨迹不重复或为非直线时,便得到符合弯曲的异形件。通过激光对特定区域的

加热，可以容易实现三维弯曲。

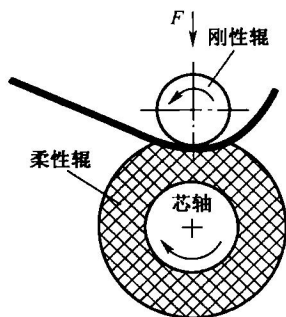


图 1.5 双轴柔性滚弯示意图

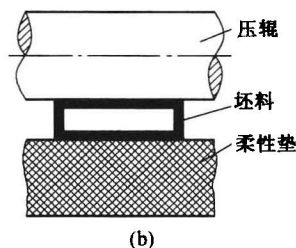
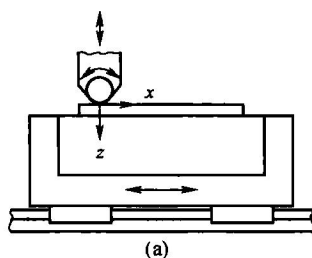


图 1.6 柔性垫弯曲示意图

4. 挤压弯曲一体化

目前，国外有研究者提出了挤压弯曲一体化成形方法，即通过一步工序就可以生产出弯曲型材，不仅工序减少、成本降低，而且型材性能得到提高，其工艺装置如图 1.7 所示。该工艺可以通过两种方式实现型材的弯曲。

一种方式是在挤压过程中使用一些特殊的手段，影响材料的不均匀流动，使型材向流速慢的一边发生弯曲。可以采用的手段有以下三种：

(1) 偏心固定芯杆会产生不对称的摩擦力，从而导致材料的流速不对称。

(2) 由于坯料和挤压筒之间存在摩擦力，所以挤压过程中材料的流速在中心部位最大，然后逐渐减小，在边部达到最小值零。因此也可以采用偏心模口的模具使挤压出来的型材发生弯曲，尽管材料的流速仍然对称的。

(3) 通过改变挤压模定径带的长度，使其不对称影响材料的流动，定径带越长的部位对材料的摩擦力越大，材料流动也就越慢；同理，定径带越短的部位对材料的摩擦力越小，材料流动也就越快。因此也能生产弯曲的型材。

另一种方式，是在挤压模后直接安装弯曲模，当从挤压模出来的型材通过弯曲模时，会受到一个力矩的作用，从而实现弯曲变形。弯曲模是由一系列的环形圆盘组成的，每个圆盘都能做两个轴向的移动和转动共五个自由度的调节。每个圆盘之间的相对位置可以预先设定好，或是在挤压过程中进行调节。在挤压过程中调节圆盘的相对位置，可以得到三维弯曲型材。

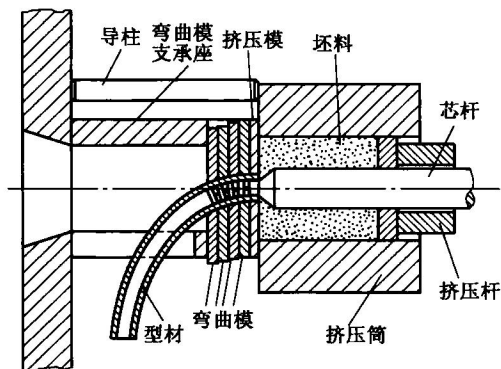


图 1.7 挤压弯曲一体化成形装置

这种工艺相比传统方法而言,有很多优点。首先,型材是在热的状态下发生塑性变形,材料成形能力比较优异;其次,型材的弯曲是由材料流速的不均匀导致的,不是完全因为弯曲力矩作用而发生塑性变形,因此,可以有效地避免回弹和截面变形等缺陷的发生,使型材成形的精度和质量得以提高,同时也使残余应力大幅度减小。弯曲件的轮廓与温度、挤压速度以及材料性能等均无关系,只由弯曲模的位置决定,因此,只要固定弯曲模的位置就可以确定型材的形状,如果在挤压过程中改变其位置,则可以生产出三维弯曲的型材。另外,其将原来的两步工序简化成一步,提高了生产效率,降低了成本。

这种工艺因其成形原理特别,也存在一些缺点。传统挤压机都是生产直的挤压件,在传统挤压机上进行弯圆式挤压时,就可能会出现挤压出来的型材与挤压机相碰的情况,从而限制了弯曲型材的弯曲半径和弯曲角度。解决这个问题,需要设计专门的挤压机,这在一定程度上限制了这种工艺的工业化推广。在一些特定的情况下,需要对生产出来的型材进行切割,切割装置的运动轨迹必须要与型材的运动保持同步,这样就增加了工艺的复杂性。但总体来讲,这是一种非常有潜力的弯曲型材加工工艺。该工艺目前还处于初步研究阶段,要想运用其实现工业化生产,还需要做大量的研究工作。

第 2 章

金属材料塑性加工理论

2.1 金属材料的塑性

2.1.1 塑性的基本概念

金属的塑性加工是以塑性为前提,在外力作用下进行的。所谓塑性,是指固体金属在外力作用下能稳定地产生永久变形而不破坏其完整性的性能。因此,塑性反映了材料产生塑性变形的能力。塑性的好坏或大小,可用金属在破坏前产生的最大变形程度来表示,并称其为“塑性极限”或“塑性指标”。

金属的塑性与柔软性是有严格区别的两个概念,不应混淆。前者是指金属的流动性能,是否易于变形;后者则是指金属抵抗变形的能力,是变形量的大小。即塑性好的金属不一定易于变形。如铜的塑性好,但并不像铅那样易于变形,因为铜的变形抗力较高。而铅的柔软性,主要不是指它的塑性好,而是指它变形抗力很小。所有的金属在高温下变形抗力都很小,可以说具有很好的柔软性,但绝对不能肯定它们必然有良好的塑性。因为温度过高往往使其产生过热或过烧,在变形时,就容易产生裂纹,即塑性变坏。

研究金属材料的塑性,探索金属塑性的变化规律,寻求改善金属塑性的途径,以便选择合理的加工方法,确定最适宜的工艺制度,可为提高产品的质量提供理论依据。

2.1.2 塑性的评定指标

塑性指标是评定金属在不同变形条件下允许的极限变形量。目前使用的是在特定变形条件下所测量的塑性指标。

1. 拉伸试验法

用拉伸试验法可测出破断时最大延伸率 δ 和断面收缩率 ψ , δ 和 ψ 的数值由下式确定:

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2-1)$$

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\% \quad (2-2)$$

式中: L_0 ——拉伸试样原始标距长度;

L_1 ——拉伸试样破断后标距间的长度;

F_0 ——拉伸试样原始断面积;

F_1 ——拉伸试样破断处的断面积。

2. 压缩试验法

在简单加载条件下,压缩试验法测定的塑性指标用下式确定:

$$\epsilon = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \times 100\% \quad (2-3)$$

式中: ϵ ——压下率;

H_0 ——试样原始高度;

H_1 ——试样压缩后,在侧表面出现第一条裂纹时的高度。

3. 扭转试验法

扭转试验法是在专门的扭转试验机上进行的。试验时圆柱体试样的一端固定,另一端扭转。随试样扭转数的不断增加,最后将发生断裂。材料的塑性指标用破断前的总扭转数 n 来表示。对于一定试样,所得总转数越高,塑性越好,可将扭转数换作为剪切变形 γ ,其计算式为

$$\gamma = R \frac{\pi n}{360 L_0} \quad (2-4)$$

式中: R ——试样工作段的半径;

L_0 ——试样工作段的长度;

n ——试样破坏前的总转数。

4. 轧制模拟试验法

在平辊间轧制楔形试件,用偏心轧辊轧制矩形试样。将试样上产生第一条可见裂纹时的临界压下量作为轧制过程的塑性指标。

2.1.3 影响塑性的因素

金属塑性不是固定不变的,同一种材料,在不同的变形条件下,会表现出不同的塑性。影响金属塑性的内部因素有化学成分、组织结构等;外部因素主要是变形过程的工艺条件,如变形温度、变形速度、变形程度和应力状态等。

1. 化学成分

化学成分的影响主要是指杂质和合金元素。一般而言,金属的塑性是随着纯度的提高而提高的。杂质的混入,会使金属和合金产生脆化现象,使冷热变形变得困难。杂质的有害影响,不仅与杂质的性质和数量有关,而且与它的存在状态有关。如铅、锡、磷、硫等杂质,当它们不溶于水,以单质或化合物的形式存在于晶界处时,将使晶界的联系减弱,从而使金属冷热变形的能力降低;当其在一定条件下能够溶入晶内时,则对金

属的塑性影响较小。

合金元素对金属材料塑性的影响,取决于加入的元素特性、加入的数量以及元素之间的相互作用。合金元素与基体在加工温度范围内形成单向固溶体时,则有较好的塑性。如加入元素的数量及组成不适当,形成过剩相,特别是形成金属间化合物或金属氧化物等脆性相,则塑性降低。

2. 组织结构

金属与合金的组织结构是指组元的晶格、晶粒的取向及晶界的特征。金属材料晶粒细小,晶界面积大、强度高,会表现出较高的塑性。纯金属和固溶体要比化合物的塑性高。此外,第二相的形状、显微分布状况对塑性也有重要影响。若第二相为硬相,且为大块均匀分布的颗粒,往往使塑性降低;若第二相为软相,则影响不大,甚至对塑性有利。钢中的碳化物,呈板状渗碳体,则加工性能不好;当经过球化处理使其呈球状分布时,则提高了塑性。

3. 变形温度

变形温度的升高会使金属材料的塑性有所改善。一般将金属材料的加工分为冷加工和热加工。再结晶温度以上的加工为热加工,再结晶温度以下的加工为冷加工。不同的金属材料其再结晶温度是不同的。热加工时随着温度的升高,在变形过程会发生消除硬化的再结晶软化过程,从而可以提高塑性。实际上,塑性并不是随温度的升高而直线上升,在加热过程中会出现脆性区。图 2.1 为碳钢的塑性温度变化图,碳钢的脆性区有四个,塑性较好的区域有三个,各区的温度范围如图 2.1 所示。

冷弯加工一般是在再结晶温度以下,为了提高塑性加温,也应该避开脆性区。

4. 变形速度

变形速度对塑性的影响比较复杂。当变形速度不大时,随变形速度的提高塑性是降低的;而当变形速度较大时,塑性随变形程度的提高反而变好。这种影响一般可用图 2.2 所示的曲线概括。塑性随变形程度的升高而降低,是由于加工硬化及位错受阻力而形成显微裂口所致;塑性随温度的升高而增长是由于热效应或位错攀移的结果。

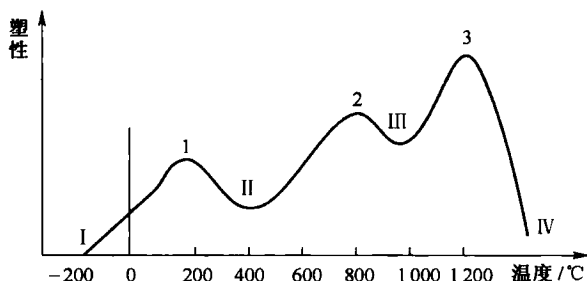


图 2.1 碳钢的塑性温度变化图

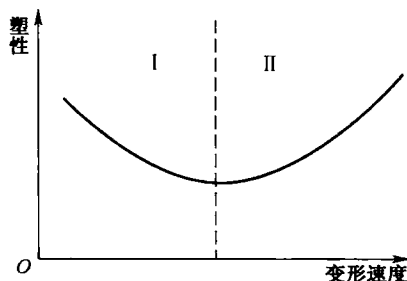


图 2.2 变形速度对塑性的影响

冷变形过程中因软化不明显,金属的变形抗力随变形程度的增加而增大。若只稍许提高一些变形速度,对变形金属本身的影响是不大的。但当变形速度提高到足够大的程度时(譬如高速锤击、高速冲压),由于变形温度显著地升高,可能使变形金属发生一些恢复现象,而可较为明显地降低金属的变形抗力,并提高其塑性变形能力。因此,在冷变形条件下,提高工具的运动速度(亦即增大变形速度),对于塑性变形过程本身是有益的。

5. 变形程度

变形程度对塑性的影响,是同加工硬化及加工过程中伴随着塑性变形的发展而产生的裂纹倾向联系在一起的。

对于冷变形而言,一般都是随着变形程度的增加而降低塑性。在塑性加工的过程中,冷变形时两次退火之间的变形程度是与金属的性质密切相关的。对硬化强度大的金属与合金,应给予较小的变形程度,即进行下一次中间退火,以恢复其塑性;对于硬化强度小的金属与合金,则在两次中间退火之间可给予较大的变形程度。

对于难变形的合金,可以采用多次小变形量的加工方法。实验证明,这种变形的方法可以提高塑性 2.5~3 倍。这是由于分散小变形可以有效地发挥和保持材料塑性的缘故。

6. 应力状态

金属在塑性变形中所承受的应力状态对其塑性的发挥有显著的影响。静水压力值越大,金属的塑性发挥得越好。

按应力状态图的不同,可将其对金属塑性的影响顺序做这样的排列:三向压应力状态图最好,两向压一向拉次之,两向拉一向压更次,三向拉应力状态图最差。在实际的塑性加工生产中,即使其应力状态图相同,但对金属塑性的发挥也可能不同。例如,金属的挤压,圆柱体在两平板间压缩和板材的轧制等,其基本的应力状态图皆为三向压应力状态图,但对塑性的影响程度却不完全一样。这就要根据其静水压力的大小来判断。静水压力越大,变形金属所呈现的塑性越大。

2.1.4 提高金属塑性的主要途径

为提高金属的塑性,必须设法促进对塑性有利的因素,同时要减小或避免不利的因素。归纳起来,提高塑性的主要途径有以下几个方面:控制化学成分,改善组织结构,提高材料的成分和组织的均匀性;采用合适的变形温度—速度制度;选用三向压应力较强的变形过程,减小变形的不均匀性,尽量造成均匀的变形状态,避免加热和加工时周围介质的不良影响等,在分析解决具体问题时应当综合考虑所有因素,要根据具体情况来采取相应的有效措施。