

板料冲压加工

〔日〕中川威雄、阿部帮雄、林馨

板料冲压加工

〔日〕 中川威雄 阿部邦雄 林 豊 合著
郭青山 杨友志 向豪英 译
李成纲 校

天津科学技术出版社

内 容 提 要

这是一本以探讨板料冲压机理为主要内容的著作，共分五章，分别阐述冲裁、弯曲、拉深、胀形和翻边等工序的基本概念以及加工过程中出现的各种现象和问题，并分析原因，提出解决问题的方法与途径。书中还介绍许多实验方法和结果，把各种客观条件和因素对冲压加工产生的不同影响，明确地提供给读者，对解决生产实际问题和完善冲压技术理论都是很有裨益的。

书后附有译者对JIS钢材编号的解释，有助于理解本书内容。

本书可供从事冲压技术工作的设计、工艺和研究人员参考，也可作为大专院校锻压专业师生的参考书。

板料冲压加工

(日) 中川威雄 阿部邦雄 林 豊 合著
郭青山 杨友志 向豪英 译
李成纲 校

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道124号

天津新华印刷二厂印刷

天津市新华书店发行

*

开本 850×1168毫米 1/32 印张 8 3/8 字数 195,000

一九八二年九月第一版

一九八二年九月第一次印刷

印数：1—19,000

统一书号：15212·72 定价：1.07元

译者序

板料冲压加工是金属塑性加工的基本方法之一，用以生产各种板料零件，具有生产率高、尺寸精度高、重量轻、成本低和易于实现机械化与自动化等特点，在现代汽车、拖拉机、电机电器、仪表、生活用品以及国防工业等各个工业部门中占据十分重要的地位。随着我国四化建设的迅速发展，对冲压产品的品种和质量的要求日益提高，有关板料冲压技术方面的问题越来越为人们所关注，相应的研究工作也日趋活跃。在这种形势下，对冲压加工机理的认识也需要随之不断深化。

本书比较系统地介绍了板料冲压加工的基本概念以及各种冲压加工工艺（一般冲裁、精密冲裁、弯曲、拉深、胀形、翻边等）中出现的各种现象和问题，进行了实验分析与理论探讨，并提出了一些解决问题的方法与途径。

鉴于上述情况，同时考虑到目前国内有关板料冲压技术方面的书籍出版的不多，所以我们翻译了此书，以供冲压行业的工程技术人员、工人以及大专院校锻压专业的师生参考。

由于我们的水平所限，译文中一定有不妥或错误之处，恳请广大读者批评指正。

译者

1981.12

作者原序

冲裁、弯曲、拉深等板料冲压方法是许多冲压方法中应用最广泛而且具有悠久历史的加工方法。同其它加工技术一样，冲压加工技术也是以生产实践为基础发展起来的。当前冲压加工所以被广泛应用，不仅仅是由于冲压加工本身已成为现代化工业的重要生产手段，而且是广大工程技术人员长期努力逐渐积累、总结的结果。从加工技术的整个发展历史来看，冲压加工理论上的研究，则在最近才刚刚开始。

但是，无论冲压加工技术如何发展，终归不能完全满足当前高度发达的工业产品所提出的无止境的各种各样的要求，而有待于今后冲压技术的不断进步与发展。的确，直到今天，冲压技术的许多问题，在多数情况下还是靠优秀的工程技术人员由多年积累的经验而产生的敏锐的直觉，以及反复摸索试验才得到解决的。但是，在现今这样加工技术复杂化、高深化的发展阶段，许多问题单靠过去积累的实践经验是解决不了的，何况青年技术人员要想掌握前人经验也不是容易的事。如果有经验的技术人员能掌握本书所整理归纳的基本分析方法，则在解决日常工作中遇到的问题，一定会发挥更大的作用。而青年技术人员为了尽快掌握前人总结的技术经验，以便正确解决现时问题，学习关于冲压加工的基本分析方法，也是必不可少的。

鉴于上述观点，对渴望进一步改善板料冲压加工工艺的工程技术人员以及为在生产中遇到问题而伤脑筋的工程技术人员来说，本书所列的冲压加工基本分析方法，对解决上述诸问题

是大有裨益的。本书是日刊工业出版社出版的《プレス技術》杂志上连载的上述内容的汇编。在单行本中，关于板料冲压加工的基本概念做这样详细论述的，除本书而外，大概再没有其它的书了。为了使读者容易理解书中的内容，尽量避免一些难懂的公式。所以，如果读者具有一定的实践经验，就能充分理解本书的内容。

本书第一章、第五章由中川威雄执笔，第二章由阿部邦雄执笔，第三章、第四章由林豊执笔，全书由中川威雄统一汇总。作者之一的阿部邦雄先生在本书出版前夕，已于今年二月突然逝世，在此谨致以深切的哀悼！并决心继承长年为冲压加工技术的发展与教育而献身的阿部先生的遗志。

中川威雄

林 豊

1977.10

目 录

第一章 剪切加工.....	(1)
1-1 剪切加工原理.....	(1)
1-1-1 剪切力与材料的变形	(2)
1-1-2 剪切断面	(7)
1-1-3 制品的尺寸精度	(10)
1-2 影响剪切加工的因素	(12)
1-2-1 剪切角	(13)
1-2-2 合理间隙	(14)
1-2-3 约束条件	(18)
1-2-4 冲裁的轮廓形状	(20)
1-2-5 速度的影响	(22)
1-3 刃口的磨损与模具寿命	(23)
1-3-1 模具寿命的决定	(23)
1-3-2 刃口的摩擦条件	(25)
1-3-3 刃口的磨损机理	(26)
1-3-4 刃口磨损形状	(27)
1-3-5 剪切加工条件对磨损的影响	(28)
1-4 精密剪切	(30)
1-4-1 整修	(31)
1-4-2 光洁冲裁	(38)
1-4-3 精密冲裁	(42)
1-4-4 其它精密剪切方法	(48)
1-5 特殊材料的剪切.....	(51)
1-5-1 棒料的剪切	(51)

1-5-2	管材的剪切	(61)
1-5-3	塑料的剪切	(63)
参考文献		(75)
第二章 弯曲加工		(79)
2-1	弯曲变形中的各种现象	(79)
2-1-1	作用在板上的力及弯矩	(79)
2-1-2	板内的应力及变形	(80)
2-1-3	板厚的变化	(82)
2-1-4	横断面形状的变化	(83)
2-1-5	加工极限	(85)
2-1-6	回弹	(86)
2-2	基本的压弯形式	(89)
2-2-1	在V形凹模上的弯曲	(90)
2-2-2	U形弯曲	(95)
2-2-3	L形弯曲	(98)
2-2-4	帽形弯曲	(100)
2-2-5	制品设计上的一些问题	(101)
2-2-6	带有压缩或伸长的翻边	(107)
2-2-7	带拉伸力的弯曲	(109)
2-3	管子弯曲及辊轧弯曲	(111)
2-3-1	管子的弯曲加工	(112)
2-3-2	辊卷弯曲	(116)
2-4	板材变形的矫正	(118)
2-4-1	辊子矫正法	(119)
2-4-2	模压矫正法	(124)
参考文献		(125)
第三章 拉深成形		(127)
3-1	拉深成形基础	(127)
3-1-1	拉深成形的特性	(127)
3-1-2	毛坯尺寸与拉深成形的关系	(129)

3-1-3	拉深件的变形模型	(130)
3-1-4	行程-拉深力曲线	(135)
3-1-5	拉深极限的评定方法	(139)
3-1-6	成形方法和机床的选择	(139)
3-2	成形条件和成形界限	(140)
3-2-1	起皱的界限条件	(140)
3-2-2	破裂界限和成形条件	(146)
3-3	拉深成形性能和试验方法	(158)
3-3-1	拉深性能	(158)
3-3-2	拉深用的材料	(163)
3-3-3	拉深试验方法	(164)
3-4	各种拉深方法	(173)
3-4-1	圆筒拉深	(173)
3-4-2	变薄拉深	(176)
3-4-3	矩形盒拉深	(178)
3-4-4	椭圆筒拉深	(184)
3-4-5	圆锥拉深和棱锥拉深	(189)
3-4-6	再拉深	(192)
3-4-7	橡胶拉深成形	(197)
	参考文献	(199)
第四章 胀形工艺		(202)
4-1	胀形成形基础	(202)
4-1-1	胀形的特点	(202)
4-1-2	胀形的种类	(204)
4-2	成形条件的影响和成形极限	(205)
4-2-1	润滑、速度的影响	(205)
4-2-2	材料厚度的影响	(206)
4-2-3	形状的影响	(207)
4-2-4	成形极限的推算	(209)
4-3	胀形成形性和试验方法	(210)

4-3-1	支配成形性的因素	(210)
4-3-2	胀形性试验方法	(213)
4-4	变形极限和不稳定界限	(216)
4-5	各种胀形方法	(221)
4-5-1	大曲面胀形	(221)
4-5-2	复合成形	(224)
4-5-3	软模胀形	(226)
4-5-4	胀形成形中的缺陷	(228)
	参考文献	(231)
第五章	翻边成形	(233)
5-1	翻边成形基础	(233)
5-1-1	变形状态	(234)
5-1-2	成形极限与板边缘的伸长极限	(236)
5-1-3	扩孔试验与翻边成形性试验	(237)
5-1-4	切削孔极限扩孔系数的尺寸效应	(238)
5-1-5	翻边高度	(240)
5-2	具有不均匀轮廓的翻边	(241)
5-2-1	变形状态	(241)
5-2-2	形状缺陷	(242)
5-3	剪断边缘的伸长变形能力	(243)
5-3-1	钢板上剪断边缘的伸长变形能力	(244)
5-3-2	剪断加工条件的影响	(246)
5-3-3	翻边条件的影响	(248)
5-3-4	提高剪断边缘的伸长变形能力的措施	(251)
	参考文献	(254)
	附录	(257)

第一章 剪 切 加 工

1-1 剪切加工原理

大多数毛坯在加工成最后制件形状之前，一般都要经过一道切断工序。切断的方法有熔断、切削或磨削切断及剪切。剪切法与切削或磨削切断法相比，虽然精度较低，但是，因为生产率高，所以，对于大批量生产来说是不可缺少的。特别是广泛采用的把板材剪切成异形轮廓制件的冲裁方法，与其它切断方法相比精度并不低，它取代了其它切断方法而成为一种极其重要的加工方法。

剪切加工是由压力机来完成的，在实际生产中，冲压加工的60%~70%都是剪切加工，与其它的弯曲、拉深等加工相比占绝对多数。

所谓剪切加工，可以说是通过一对工具施加压力使材料发生剪切变形，并使之破坏分离的切断加工。可是，现在就连使用刀刃的冲切模、使用橡皮的橡胶冲压法以及整修，这样一些加工现象颇不相同的方法，都被归入剪切加工的范围，而与是否发生剪切变形无关；所以，现在所说的剪切加工，是指使用压力机一类的加压装置进行切断的各种方法的总称。

这样的剪切方法在古时就已存在，它是一种只要有一对工具和压力就能实现切断分离的简单加工，其实际的切断时间在0.1秒以内。但是，由于剪切加工的生产率特别高，所以，在大批量生产当中人们一直在努力使产品质量稳定，提高模具寿命，提高制件切断面的精度。为此，很多人对剪切加工现象进行了研究，但这个看来好象很简单的剪切加工，在本质上是一

种由于剪切加工条件的不同而造成的周围复杂应力条件下的破坏现象，它往往伴随着一些不能简单说明的复杂现象。

1-1-1 剪切力与材料的变形

图1-1所示为使用一对普通凸模和凹模对材料进行剪切时的情形。首先，当凸模下降与材料接触时，材料就受到凸模端面和凹模端面的压力。因此，在间隙区域附近的材料内部就产生剪切应力，使材料产生剪切变形。如果增大加在凸模上的力，材料将屈服，剪切变形区开始宏观的滑移变形，此时凸模和凹模都开始挤入材料内。当这种状态继续进行时，由于材料的加工硬化与应力状态的改变，不再能经受进一步的变形，于是产生裂纹，并扩展到最后破坏分离。下面着重叙述剪切过程中作用力的关系。

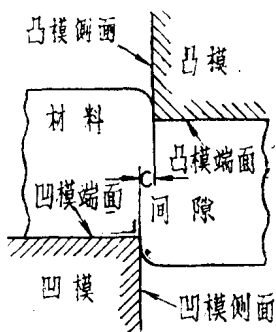


图1-1 剪切模具

(1) 剪切力曲线

剪切加工可以看作是材料试验方法之一的剪切破坏试验在实际加工中的一种应用。如同研究拉伸试验结果时常采用载荷-伸长曲线一样，这里我们也用剪切加工的剪切力曲线来研究其加工现象。在剪切力曲线图中，纵坐标为剪切负荷与初始受剪面积之比值，称为剪切抗力。因为剪切加工时的变形与纯剪变形有所不同，所以不能把它叫做剪切应力。横坐标则利用凸模行程与材料厚度的相对值表示。

图1-2是塑性材料的剪切力曲线示例。凸模接触材料后载荷急剧上升，但当凸模刃口一旦挤入材料，载荷的上升就缓慢下来。虽然由于凸模的挤入使承受剪切力的材料面积减小了，但只要材料加工硬化的影响超过受剪面积减小的影响，剪切力

就继续上升。当两者达到相等的瞬间，剪切力达最大值，以后，受剪面积的减少超过加工硬化的影响，于是剪切力下降。

如上所述，塑性好的材料或在不易破坏的加工条件之下，在最大剪切力之后才发生裂纹；但是塑性差的材料则在剪切力上升区域内就发生裂

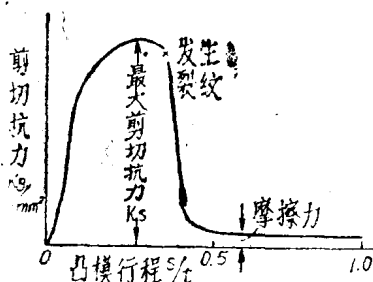


图1-2 剪切力曲线

纹，直至断裂。另外，许多情况是在最大剪切力出现之前就产生了微小的裂纹，随着裂纹的成长受剪面积逐渐减小。在软钢等材料的剪切力曲线上有时也可以看到明显的屈服点，我们把剪切力最大时的剪切抗力称为抗剪强度，把此时的凸模行程称为总伸长。这样就可以认为剪切试验与拉伸试验的情况大体相同了。当然，由于剪切加工是不稳定变形，每个瞬时，变形区域都在变化，同时剪切变形区的应力状态也因位置不同而有很大差异，所以在最容易发生裂纹的地方出现的裂纹，要使它继续成长，必须进一步加压，这些都是剪切加工不同于拉伸试验的地方。

剪切抗力的最大值，在实用上是决定压力机吨位的最重要参数，把这个值称为抗剪强度。在纯剪变形的情况下，抗剪屈服应力约为抗拉屈服应力的一半。据此，可以类推抗剪强度也为抗拉强度的一半。但是，在剪切加工时材料的变形区大，其中掺有压缩和拉伸的成分，加之还含有模具表面与材料间的摩擦力，所以抗剪强度比上述值大。在实际应用中抗剪强度的经验数值一般取抗拉强度的0.8倍；但愈是硬脆的材料，其最大剪切力出现得愈早，变形也愈接近于纯剪状态，因此它的抗剪强度对抗拉强度的相对值可以取得低一些。

在剪切力曲线图上，曲线所包围的面积表示剪切加工所需要的能量，这也是决定压力机容量的重要参数。此面积的近似求法为：

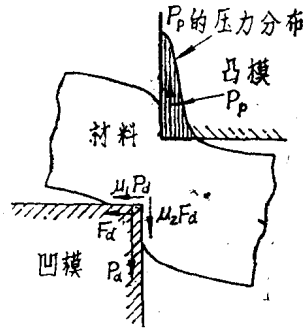
抗剪强度 × 受剪面积 × 材料厚度 × 系数

系数根据材质的不同而变化，例如，对高塑性材料取0.5~0.6，对塑性差的材料取0.3左右。

(2) 作用在模具上的力

弄清楚作用于模具上的力，这不但对理解剪切现象是必要的，而且在论述模具构造和刃口的磨损时也是重要的（图1-3）。

剪切加工时，材料由于受到模具表面的力偶作用而弯曲，并从模具表面上翘起。因此，模具表面与材料的接触面仅局限在刃口附近的狭小区域，接触面宽度为材料厚度的0.2~0.4倍，而且在接触面上模具与材料相互作用的垂直压力分布



垂直力：

$$P_d + \mu_2 F_d = P_p + \mu_1 F_p$$

水平力：

$$F_d (\pm) \mu_1 P_d = F_p (\pm) \mu_2 P_p$$

图1-3 作用在模具上的力

不匀，它随着向模具刃口的逼近而急剧增大，其分布如图1-3所示。这意味着模具整体即使在许用压力以下工作，但在模具刃口处所受的压力也非常大。例如，设接触面为材料厚度的1/3，则刃口处的平均压力为剪切抗力的3倍，其最大值比这还要大，所以当剪切硬的材料时，就会使模具刃口产生很大的压应力。实际上，由于疲劳而崩刃，淬火钢模具刃口的变形以及磨损现象等，都可以认为是由于刃口局部承受过大压力所致。

凸模上所受的力为作用在凸模端面上的压力与凸模侧面上的摩擦力之和。虽然一般来说，模具侧面的摩擦力除发生粘模的情况外并不大，但因为摩擦距离长，所以成为磨损的主要原

因。此摩擦力，即使在凸模回程时也起作用，因而，需要有一定的力才能把材料从凸模上卸下，这个力称为卸料力，它是设计卸料板必需的参数。作用于模具上的其它力全都是压力，唯有卸料力是拉力，所以它对模具刃口的崩刃起有害作用。

此外，在模具上也有水平方向力的作用。此力称为模具水平力或侧压力，其值约为垂直力的 $1/3$ 。此水平力为模具侧面上的正压力和模具端面与材料之间的摩擦力之和。至于模具端面上的摩擦力的方向，则尚无定论。例如，间隙非常小的时候，与模具端面相接触的材料向远离模具刃尖的方向移动，所以摩擦力的方向是由刃口向外。此时，因为模具侧面与端面的摩擦力方向不同，所以在模具刃口的某点上存在摩擦力的分水岭。另一方面，在间隙非常大或刃口被磨钝的情况下，材料被拉入凹模，摩擦力的方向指向刃尖。尽管考虑到了切断过程中摩擦力方向是不同的，可是，鉴于材料向上翘起和模具端面的月牙洼式磨损，所以在通常的剪切条件下，还是将摩擦力的方向看作是从模具刃口向外比较适当。

(3) 作用在材料上的力与变形

在剪切加工中，材料的变形区是以凸模与凹模刃口连线为中心而形成的，根据实验结果得知，如图1-4所示，在纺锤形区域内变形最大。即从模具刃口向材料中心，变形区逐步扩大，材

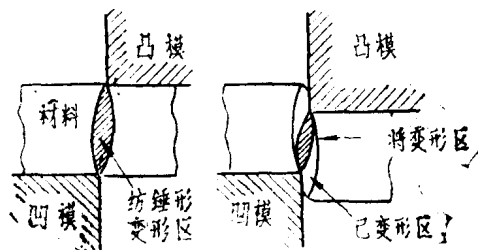


图1-4 剪切变形区

料的延伸率和加工硬化系数愈大，变形区就愈大。即使凸模挤入材料一定深度以后，变形区也同样可以按纺锤形区域来考虑。但是，在这种情况下，变形区被在此以前已经变形而加工硬化了的区域所包围。在此纺锤形区域内，材料的变形就比较接近于剪切变形，但此区域内的应力状态却随地点的不同而不同。

材料变形区周围的应力状态如图 1-5 所示。在凸模下方和凹模上方，由于分别受到凸模和凹模端面的高压作用，为压应力区。另一方面，在材料塌角处，既要支撑变形区，同时，由于模具侧面的摩擦力而又受到拉伸，于是成为拉应力区。

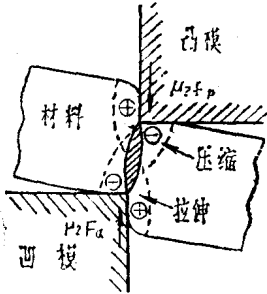


图1-5 材料内的应力

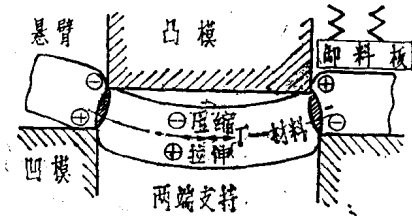


图1-6 弯曲的影响

由于力偶作用而形成的材料弯曲的影响，在单边剪切时可以按如图 1-6 所示的悬臂梁的情况考虑，这时因把塌角压紧在模具侧面上而增加了压应力。如果是双边剪切或沿封闭曲线轮廓冲裁时，弯曲的影响就如双支点梁那样，材料的靠凹模一侧受拉伸，靠凸模一侧受压缩。在这种情况下，与凸模侧面接触的材料塌角处，由于弯曲而压缩，与凹模侧面接触的塌角处，由于弯曲而拉伸，所以，裂纹一般由凹模一侧先开始。如果在模具上装有卸料板，防止凹模面上的材料向上翘，这时靠近凸模侧面的塌角处的材料被拉伸，而凹模面上的材料受压

缩，这一来，裂纹就容易从凸模刃口一侧开始产生。

如同双支点梁所发生的弯曲那样，凸模下面的材料也受到弯曲，若此弯曲过大，材料就会产生残留的弯曲变形。此外，在材料内部还受到力 T 的作用，这个力的正负号随加工条件而异。也就是说，力 T 的方向与前述模具端面上摩擦力的方向是相对应的，如果摩擦力是指向刃口的方向则为拉力，反之为压力。但是，这个沿板面方向的力 T 并不重要，它对加工没有多大影响。

1-1-2 剪切断面

因为由剪切加工得到的材料断面为断裂面，所以其精度及光洁度都较低。在此，对剪切断面各部分的形成原理和性质加以说明。

(1) 塌角

塌角可以认为是由于纺锤形变形区对其周围材料的影响而生成的。因此，加工硬化系数愈大的材料，其变形区对周围的影响愈大，所以，塌角也大。而且，从剪切过程的初期状态到最大剪切力点的期间内，塌角是在逐渐增大的，由于生成塌角而少掉的那一部分材料，或者被挤入间隙，或者返回冲裁废料，就这样把这部分材料吸收了。影响塌角大小的因素除材料性质以外，还有工件轮廓形状、模具间隙等。

(2) 光亮带

光亮带是模具刃口切入后，在材料和模具侧面接触当中被挤光的平滑面。通常由于刃口上的缺陷或在刃口上附着金属屑，使切断方向上有很细的道痕，但要得到 10μ 以下的光洁度是不困难的。光亮带是断口上精度、光洁度最高的部分，要想使整个断口上没有剪裂带，全是光亮带，就要用精密冲裁的方法。然而，为了在普通冲裁时提高剪切断口的精度，就须设法增大光亮带，例如，在某些情况下可以利用冲裁过程中的二次