

冷作成形 技术手册

王爱珍 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



冷作成形技术手册

王爱珍 编著



机械工业出版社

全书共 11 章,除传统绘图、放样、展开外,还有计算展开、计算机绘图、冷作结构绘图、冷作 CAE 与 FMS 技术、冷作材料及规格、冷作矫正与改性、切割下料、冲压与旋压成形、连接成形以及典型冷作构件的制作等内容。全书内容按冷作结构成形制作顺序编排,由浅入深,循序渐进。

本书可供机械、建筑、化工、航空、电器仪表、轻工纺织等行业从事冷作技术的人员使用,也可供有关科研人员及大专院校师生参考,还可作为相关专业本科、专科学生岗前职业技能培训或扩大专业用书,是广大冷作技术工作者必备的工具书。

图书在版编目 (CIP) 数据

冷作成形技术手册/王爱珍编著. —北京:机械工业出版社, 2006.5
ISBN 7-111-18961-2

I. 冷… II. 王… III. 冷冲压-成形-技术手册
IV. TG386-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 034797 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:刘彩英

责任编辑:白刚 版式设计:张世琴 责任校对:吴美英

封面设计:陈沛 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm×239mm·21.875 印张·3 插页·853 千字

0 001—4 000 册

定价:66.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

编辑热线电话 (010) 68351729

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着现代工业技术的迅猛发展和企业与人才市场的需求变化,以及冷作制造技术培训上岗人员和高级技工的急需,尤其是对厚知识、宽口径、高技能技术培训版本的需求,特编写了这本手册。

本手册从冷作结构件的绘图放样、加工方法及制作工艺的角度出发,系统地论述了金属结构件制作的全部冷作技术和新技术,汇集了冷作结构放样、冷作加工、连接组装等实用技术及设备,力求简明扼要,图文并茂,归类便查,立足实用,以适应与金属结构件有关的各类人员在工作中的需要。

全书共分 11 章内容,除传统绘图、放样、展开外,还有计算展开、计算机绘图、冷作结构图、冷作 CAE 与 FMS 技术、冷作材料及规格、冷作矫正与改性、切割下料、冲压与旋压成形、连接成形以及典型冷作构件的制作等内容。全书内容按冷作结构成形制作顺序编排内容,由浅入深,循序渐进。

全书由郑州轻工业学院王爱珍教授编著,参加汇集、绘图、整理的有何旭光、李烁、郭霄、王世杰、李维海、郑冰岩、衡德福、孟占江、詹明浩、付绍先等。在编写过程中调研并征求了有关企业技术部门、科研院所和高校技术人员的见解和建议,得到了有关企业提供的大量数据和实例,参考并引用了许多版本的同类教材、手册及相关资料和技术标准,在此一并致以衷心的感谢。

本书可供机械、建筑、化工、机车、航空、电器仪表、轻工纺织等行业从事冷作技术人员使用,也可供有关科研人员及大专院校师生参考,还可作为高等学校相关专业本、专科学生岗前职业技能培训或扩大专业用书,是广大冷作工作者必备的工具书。

由于编者经验不足、水平有限,难免有不妥之处,敬请广大读者和专家批评指正。

作 者

目 录

前言

2.3.3 型钢切口计算号料	113
----------------------	-----

第1章 冷作技术概述	1
1.1 冷作成形原理	1
1.1.1 冷作塑性变形	1
1.1.2 冷作强化与极限	5
1.1.3 冷作形变与控制	10
1.2 冷作技术及应用	16
1.2.1 冷作技术基础	16
1.2.2 冷作加工成形方式	20
1.2.3 各类冷作结构	28
1.3 冷作成形新技术	33
1.3.1 高温与高速成形	33
1.3.2 超塑性成形	40
1.3.3 冷作 CAE 与 FMS 技术	43
第2章 冷作放样基础	58
2.1 图形绘制	58
2.1.1 平面图形绘制	58
2.1.2 立体投影作图	73
2.1.3 实长实形作图	82
2.1.4 断面实形作图	89
2.2 实尺放样	93
2.2.1 放样任务及要求	93
2.2.2 放样程序及过程	95
2.2.3 样板制作及工艺	101
2.3 号料划线	109
2.3.1 号料技术要求	109
2.3.2 号料技术方法	110

第3章 立体表面展开	117
3.1 作图法展开	117
3.1.1 展开结构分析	117
3.1.2 可展曲面的展开	123
3.1.3 不可展曲面的展开	135
3.1.4 平面立体表面的展开	140
3.2 计算法展开	144
3.2.1 柱面构件的展开	144
3.2.2 锥面构件的展开	150
3.2.3 球面等构件的展开	154
3.2.4 平面构件的展开	165
3.3 中性层法展开	169
3.3.1 弯曲板料的展开	171
3.3.2 简单构件的展开	176
3.3.3 相贯构件的展开	179
第4章 冷作施工图绘制	182
4.1 冷作图技术要求	182
4.1.1 冷作件表面质量	182
4.1.2 冷作件成形精度	185
4.1.3 冷作极限及公差	194
4.2 冷作结构图绘制	202
4.2.1 焊接结构图	202
4.2.2 连接结构图	214
4.2.3 典型结构图绘制举例	222
4.3 计算机辅助绘图	225
4.3.1 软件使用及操作	225

4.3.2 图形绘制与编辑	236	7.2.1 气体切割	391
4.3.3 典型结构图绘制	240	7.2.2 数控气割	401
第5章 冷作材料及规格	253	7.2.3 等离子切割	406
5.1 冷作材料概述	253	7.2.4 激光切割	414
5.1.1 材料分类与编号	253	7.3 冲裁切割	420
5.1.2 材料质量与评定	261	7.3.1 冲裁工艺方法	420
5.2 结构钢与特殊钢	263	7.3.2 冲裁件结构工艺性	429
5.2.1 结构钢性能及应用	263	7.3.3 冲模结构原理及应用	434
5.2.2 特殊钢性能及应用	274	第8章 冷作弯曲成形	442
5.2.3 钢板及钢带的尺寸规格	282	8.1 滚弯成形	442
5.3 有色金属与非金属材料	292	8.1.1 滚弯方法	442
5.3.1 有色金属材料性能及 应用	292	8.1.2 滚弯设备及应用	446
5.3.2 有色金属板材及带材	301	8.1.3 滚弯工艺	450
5.3.3 非金属材料及板材	307	8.2 拉弯成形	458
第6章 冷作矫正与改性	311	8.2.1 拉弯方法及设备	458
6.1 金属材料矫正处理	312	8.2.2 拉弯工艺及参数	463
6.1.1 矫正概述	312	8.2.3 拉形模典型结构	465
6.1.2 机械矫正	315	8.3 压弯成形	467
6.1.3 手工矫正	323	8.3.1 压弯方法	467
6.1.4 火焰矫正	328	8.3.2 压弯工艺	482
6.2 金属材料热处理	334	8.3.3 压弯件结构工艺性	490
6.2.1 钢的热处理	334	8.3.4 压弯模结构及原理	495
6.2.2 有色金属的热处理	342	8.3.5 压弯设备及选用	502
6.2.3 热处理工艺方法	346	第9章 冷作拉深与旋压	510
6.3 金属材料表面处理	356	9.1 冷作拉深	510
6.3.1 表面预处理	356	9.1.1 拉深成形方法	511
6.3.2 表面转化膜处理	362	9.1.2 拉深成形工艺	515
6.3.3 表面镀膜及涂膜处理	368	9.1.3 拉深件结构及模具	534
第7章 冷作切割与冲裁	371	9.2 冷作翻边	545
7.1 机械切割	371	9.2.1 内孔翻边	545
7.1.1 板材剪切	371	9.2.2 外缘翻边	550
7.1.2 叠料铣切	383	9.2.3 翻边模结构及应用	553
7.1.3 型材锯切	387	9.3 冷作旋压	555
7.2 热熔切割	390	9.3.1 旋压和旋薄	556
		9.3.2 旋压胀形	565
		9.3.3 旋压成口	569

第 10 章 拼装连接成形	576	11.1 桁架类构件的制作	654
10.1 焊接成形	576	11.1.1 桁架类构件制作	
10.1.1 焊条电弧焊	577	工艺特点	654
10.1.2 埋弧自动焊	590	11.1.2 暖气管道支架的制作	660
10.1.3 气体保护焊	597	11.1.3 屋架结构的制作	664
10.1.4 高能束熔化焊	608	11.2 板壳类构件的制作	667
10.1.5 压力焊与钎焊	613	11.2.1 离心式通风机机壳	
10.1.6 焊接工艺拟定	619	的制作	667
10.2 咬接与胀接成形	633	11.2.2 旋风式除尘器筒体	
10.2.1 薄板构件咬接	633	的制作	674
10.2.2 管板构件胀接	637	11.3 容器类构件的制作	681
10.3 铆接与胶接成形	643	11.3.1 容器类构件制作特点	681
10.3.1 铆接成形	643	11.3.2 圆锥筒铝容器的制作	685
10.3.2 胶接成形	649	11.3.3 压缩空气储气包的制作	687

第 1 章 冷作技术概述

冷作技术包含钣金技术和罐装技术两大类，既有薄壁钣金放样与加工，又有厚壁热熔切割与成形，是以塑性好的金属轧制板料、成卷条料及带料、各种角钢、槽钢及钢管等型材为毛坯，切割下料成一定尺寸形状后，在机械设备或冲床上利用胎具、模具等对常温下的坯料施加压力，使之产生塑性变形或分离，从而获得一定尺寸形状和性能的零件，再按使用性能要求连接成一定结构形状的加工方法。

冷作加工方法既适于加工金属材料，又适于加工大多数非金属材料 and 复合材料，仅是加工方法及连接形式不同而异。该技术愈来愈广泛地应用于航空、航天、船舶、汽车、机车、车辆、建筑、化工、仪器、仪表及日用品等工业生产。

1.1 冷作成形原理

冷作成形是利用压力使材料产生塑性变形，从而成形为所需形状和尺寸的零件或结构件。在加工时，材料宏观上产生塑性变形，微观上产生单晶粒破碎，晶格扭曲、多晶粒相互移动或转动，致使材料产生冷作硬化，需要进行处理才能再次进行冷作加工。

1.1.1 冷作塑性变形

(一) 单晶粒的塑性变形

金属单晶粒的塑性变形主要是通过滑移与孪生两种方式进行。所谓滑移是指单晶粒在切应力作用下，晶内一部分相对于另一部分沿一定的晶面发生相对的滑动（图 1-1d）。

单晶粒变形过程中，在切应力较小时，只发生弹性变形（图 1-1b），一旦去除应力，则因原子间的相互引力，晶粒立即恢复原状。但当增大切应力，使晶粒的变形程度超过弹性变形阶段时，晶粒的一部分相对另一部分则产生滑移（图 1-1c），将造成永久变形。晶粒的滑移常沿着原子密度最大的晶面和晶向发生，这些晶面或晶向称为滑移面或滑移向。

在切应力作用下，晶粒有时还可以另一种形式发生塑性变形，即晶体的一部分相对另一部分，沿着一定晶面（孪晶面）产生一定角度的切变，这种变形形式叫做孪生。经过孪生变形后，在孪晶面两侧的晶粒形成镜面对称（图 1-1e）。

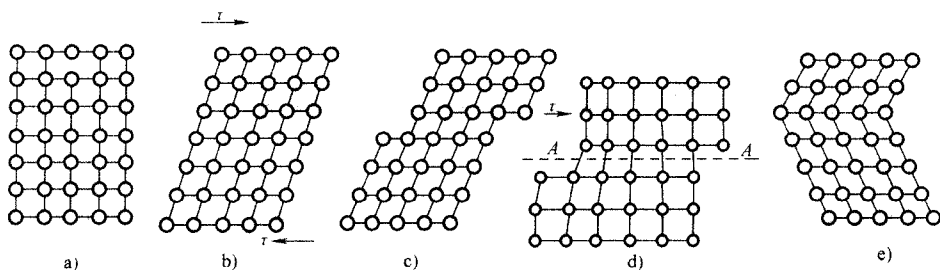


图 1-1 单晶粒变形的形式

a) 未变形 b) 弹性变形 c) 弹塑变形 d) 塑性变形 e) 孪晶变形

(二) 多晶粒的塑性变形

多晶粒中每个晶粒的塑性变形形式与单晶粒相似。但由于多晶粒金属中每个晶粒所处的位向不同 (图 1-2a), 滑移的先后次序不同。处于滑移面和滑移向与外力成 45° 角的软位向晶粒先产生滑移, 滑移时受到邻近位向不同晶粒的阻碍, 在晶界附近造成位错堆积。

随着外力增大, 致使应力集中达到一定程度时, 软位向晶粒发生转动, 滑移停止, 并将形变传递到另一批晶粒中。然后次软位向晶粒开始发生滑移, 直到全部晶粒都发生滑移为止。

如图 1-2b 所示, 不同位向晶粒 A、B、C 将依次产生滑移, 构成多晶粒金属复杂的塑性变形。

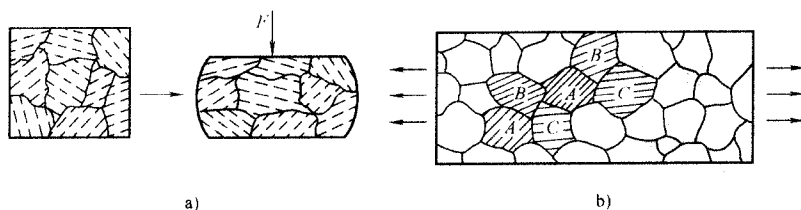


图 1-2 多晶粒塑性变形示意图

a) 不同的晶粒位向 b) 晶粒依次塑变

(三) 冷塑性与变形抗力

金属的塑性是指金属坯料在外力作用下, 产生塑性变形却不发生破坏的能力。变形抗力则是指金属对于促使产生塑性变形的力抵抗能力。金属的塑性越高, 变形抗力越小, 则越有利于冲压成形, 亦即金属的可冷成形性越好。

金属塑性的高低, 可用允许最大变形程度、伸长率、断面收缩率、冲击韧性等指标直接或间接表示 (见表 1-1)。金属塑性取决于金属的化学成分、组织结构

与变形条件等因素,一般纯金属和低碳钢的塑性较好,具有良好的冲压成形性能,而合金钢和中碳钢则随合金元素或碳含量的增多,强度提高,塑性下降,变形抗力增加,冲压性能变坏。

常用各种金属材料的冲压变形难易程度排序见表 1-2,通常可根据使用要求择优选用。

金属的变形抗力通常是指其屈服点 σ_s ,可由实验测定。材料的屈服点表示材料产生屈服时的最小应力,即当金属内部所受的应力超过该值时,便开始产生塑性变形。并且材料的屈服点越大,使材料开始产生塑性变形所需要的作用力也越大,各种金属材料的屈服点可查阅第 5 章有关内容。

表 1-1 金属材料的力学性能

性能	指标	符号	单位	试验说明	含义及应用
弹性和刚度	弹性极限	σ_e	MPa	试样受拉后能恢复到原来尺寸,不产生永久变形时所能承受的最大应力	E 是衡量材料抵抗弹性变形能力的指标,在工程上又叫刚度,取决于材料性质及尺寸大小, E 越大,材料的刚度越大
	弹性模量	E	MPa	在弹性变形范围内,应力与应变成正比 $\sigma = E\varepsilon$,即 $E = \sigma/\varepsilon$,比例系数 E 称为弹性模量	
塑性	伸长率	δ δ_5 δ_{10}	%	试样拉断后,标距伸长量与原标距的百分比。 标距长度为其试样直径的 5 倍时用 δ_5 表示;标距长度为其试样直径的 10 倍时用 δ_{10} 表示。 钢的 δ_5 约为 δ_{10} 的 1.2 倍	塑性是指金属材料在外力的作用下产生塑性变形而不破坏的能力, δ 和 ψ 值愈大,塑性愈好,愈有利于压力加工。 $\delta \geq 5\%$ 的材料为塑性材料; $\delta < 5\%$ 则为脆性材料
	断面收缩率	ψ	%	试样拉断后,缩颈处横截面的缩小量与原横截面积的百分比	
硬度	屈服点	σ_s	MPa	试样在拉伸过程中,载荷不增加而变形继续增加(即屈服现象)的最小应力	强度是指金属材料抵抗塑性变形和断裂的能力,强度愈高,说明该材料能承受的外力愈大。 σ_s/σ_b 的比值称为屈强比,其比值愈大,愈能发挥材料的潜力,并可减小结构自重,一般在 0.65 ~ 0.75 之间较适宜。 通常改善零件结构形状,降低其表面粗糙度并采取各种表面强化处理(如喷丸),都能提高零件的疲劳极限
	屈服强度	$\sigma_{0.2}$	MPa	对于高碳钢、合金钢及有色金属在拉伸试验时无明显屈服点,则将其试样标距长度产生 0.2% 的塑变时的应力值作为其屈服强度	
	抗拉强度	σ_b	MPa	试样在承受拉力时,在拉断前所能承受的最大应力,其值为受最大载荷与原横截面积的比值	
	抗压强度	σ_{bc}	MPa	试样在承受压力时,在压坏前所能承受的最大应力	
	抗弯强度	σ_{bb}	MPa	试样在承受弯曲力时,在弯断前所能承受的最大应力	
	抗剪强度	τ	MPa	试样在承受剪切力时,在剪断前所能承受的最大应力	
	疲劳极限	σ_{-1}	MPa	金属材料经多次(钢铁为 10^7 次,有色金属为 10^8 次)对称循环交变外力作用而不发生疲劳断裂的最大应力	

(续)					
性能	指标	符号	单位	试验说明	含义及应用
硬度	布氏硬度	HB	MPa (不标出)	用一定直径的压头在一定载荷下垂直压入试样表面,保持的规定时间后卸载 在压痕表面所承受的平均应力值为布氏硬度值。压痕愈深,硬度愈低 HBS 和 HBW 前面的数字代表其硬度值 压头为钢球时,用 HBS,适用于布氏硬度值在 450 以下的材料 压头为硬质合金时用 HBW,适用于布氏硬度值在 650 以下的材料	硬度是指金属材料在外力作用下抵抗局部塑性变形的能力 HBS 适用于测量小于 450MPa 的退火钢、正火钢、调质钢、铸铁及有色金属的硬度值,不适宜测成品及薄板
		HR		用金刚石圆锥或淬火钢球压入试样表面,保持时间后,去载测量 测量时,可以从实验机前的刻度盘上直接读出刻度值 HRA 和 HRC 为黑色刻度,HRB 和 HRF 为红色刻度	按压头和载荷的不同,洛氏硬度常分为四种,测量简便易行,压痕小,不损伤测量表面。其中 HRC 应用最广
	洛氏硬度	HRC	MPa (不标出)	压头为 120°金刚石圆锥,总试验力为 1471N	测量 26 ~ 67HRC 的淬火钢、调质钢
		HRB		压头为 $\phi 1.588\text{mm}$ 钢球,总试验力为 980.7N	测量 25 ~ 100HRB 的有色金属的退火、正火钢
		HRA		压头为 120°金刚石圆锥,总试验力为 588.4N	测量 75 ~ 85HRA 的硬质合金、表明淬火层、渗碳层
		HRF		压头为 $\phi 1.588\text{mm}$ 钢球,总试验力为 588.4N	测量硬度为 HRF 的铝合金、镁合金
	维氏硬度	HV	MPa (不标出)	用 49 ~ 981N 的一载荷,将顶角为 136°的金刚石正四方角锥体压入试样表面,保持规定的时间后卸,以其压痕面积,除载荷所得之商称为维氏硬度 HV	适用于测定厚度为 0.3 ~ 0.5mm 的薄层材料。或厚度为 0.03 ~ 0.05mm 的表面硬化层(如渗碳渗氮、碳氮共渗层)的硬度
韧性	冲击韧性	a_k	J/cm ²	将标准试样放在冲击试验机支架上,试样缺口背向冲击方向,摆锤从高向低处的试样自由落下冲断,算所消耗的冲击功 A_k ,再将 A_k 除以试样缺口处横截面积即为 a_k	冲击韧度是指金属材料抵挡冲击载荷作用而不破坏的能力,冲击韧度值越大,韧性就越好
	断裂韧度	K_{Ic}	MPa·m ^{1/2}	用具有张开形裂纹的试样,裂纹尖端前沿各点的应力,随外加应力的增大,且按相应比例增大至某临界值时,裂纹突然失稳则快速扩展,发生脆断,其临界值,即称为材料的断裂韧性,用 K_{Ic} 表示 K_{Ic} 是一个常数,可根据工作应力确定所选材料允许存在的最大裂纹	常用高强度钢的 $K_{Ic} < 30\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$,但工作应力大,长裂纹就危险 中低强度钢的 $K_{Ic} > 50\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$,工作应力小于 200MPa 时,甚至更长的裂纹也不会脆断

表 1-2 常用金属材料冲压变形难易程度排序 (从小到大)

序号	材料	序号	材料	序号	材料	序号	材料
1	纯铝	4	镁合金	7	低碳和低合金钢	10	镍合金
2	铝合金	5	磷青铜	8	马氏体不锈钢	11	半奥氏体沉淀硬化不锈钢
3	纯铜	6	黄铜	9	奥氏体不锈钢	12	钛合金

1.1.2 冷作强化与极限

(一) 冷作形变硬化

1. 冷作硬化的机理

因金属的塑性变形是由位错移动来实现的,故在变形量不大时,晶界附近会出现位错堆积和缠结。随着变形量的增加,位错堆积缠结现象趋于严重,便会使各晶粒破碎成为细碎的亚晶粒,晶格产生严重畸变。

冷作加工过程中,随着变形程度的增加,形变愈大,碎晶程度便愈大,位错密度也愈大,从而使金属塑性变形的抗力(即每一瞬间的屈服点 σ_s)在不断的增大。因此,金属这种微观上的变化会增加晶格进一步滑移的阻力,宏观上又反映为材料的强度、硬度和耐磨性的提高,这一现象称为加工硬化或冷作硬化,如图1-3所示。

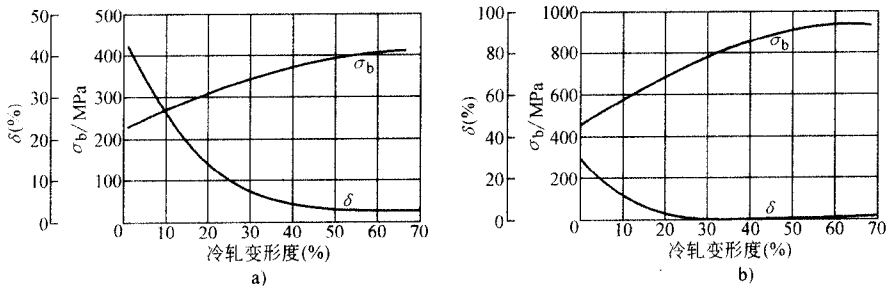


图 1-3 金属加工硬化现象

a) 纯铜 b) 低碳钢

2. 冷作硬化的影响

冷作硬化对塑性变形的影响很大,且材料性质不同,变形温度及速度不同,其冷作硬化的程度也不同。冷作硬化不仅使金属的塑性和韧性明显下降,所需的变形力增加,还限制了材料进一步变形而降低了极限变形程度。因此,需要在后续变形工序前增加中间退火工序,以消除硬化现象,提高后续变形工序的成形极限。

然而,硬化有时对变形是有利的,如板料硬化能减小厚度的局部变薄,使变形趋于均匀,增大极限变形程度,同时也提高了材料的强度。

由此可见,在处理冲压生产中许多实际问题时,必须研究和掌握材料的硬化规律,以及它们对冲压工艺的影响。

3. 冷作硬化的规律

常温下金属材料塑性变形的抗力随变形程度变化的规律,可用硬化曲线表示。图1-4a所示为低碳钢拉伸变化曲线,图1-4b示出四种金属材料的硬化曲线。

图中实验曲线的变化规律一般都很复杂，很难用统一的函数形式精确表达，给计算板料成形问题带来困难。因此，需将实际材料的硬化曲线适当简化，变成只需少量实验数据就能确定近似硬化曲线的简单数据表达式，即硬化直线方程式（图 1-4c）：

$$\sigma = \sigma_0 + D \epsilon$$

式中 σ_0 ——近似屈服强度（MPa），是硬化直线在应力轴上的截距；
 D ——硬化模数（即硬化直线的斜率）；
 ϵ ——应变。

用硬化直线代替硬化曲线时，仅在缩颈点附近误差较小，而当变形较大或较小时误差较大，一般冲压生产中常用更准确的指数曲线计算材料的形变应力。指数曲线又称幂函数曲线，其表达式为

$$\sigma = C \epsilon^n$$

式中 C ——塑性系数（与材料有关的系数，MPa）；
 n ——硬化指数。

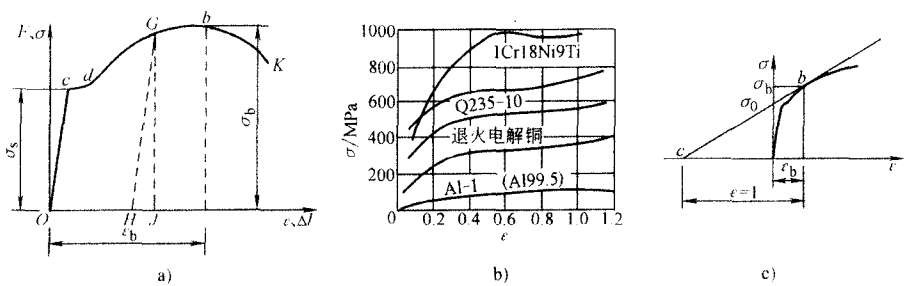


图 1-4 碳钢等金属的硬化规律

a) 低碳钢拉伸变化图 b) 四种金属硬化曲线 c) 近似硬化直线

C 和 n 值取决于材料的种类和性能，其数值见表 1-3。 n 值是表示材料冷变形时硬化的主要参数， n 值大，表示材料在冷变形过程中，变形抗力随变形的进展而迅速增加，硬化显著，对后续变形工序不利。

表 1-3 各种材料的 C 与 n 值

材料	C /MPa	n	材料	C /MPa	n	材料	C /MPa	n
软钢	710 ~ 750	0.19 ~ 0.22	磷青铜	1100	0.22	铜	420 ~ 460	0.27 ~ 0.34
黄铜 (H59)	990	0.46	磷青铜 (低温退火)	890	0.52	硬铝	320 ~ 380	0.12 ~ 0.13
黄铜 (H65)	760 ~ 820	0.39 ~ 0.44	银	470	0.31	铝	160 ~ 210	0.25 ~ 0.27

注：表中数据是退火材料在室温与低变形速度下试验求得的。

4. 残余应力的产生

金属塑性变形时,由于多晶体变形分布的严重不均匀性,使塑性变形后的金属存在残余内应力,这将导致零件在使用中发生变形。所以经过塑性变形的金属,通常都要进行退火处理,以消除或降低金属内的残余内应力。

(二) 冷作变形极限

1. 成形性能指标

冷作成形性能应包括破裂性、贴模性和定形性等。其中贴模性是指板料在冲压过程中取得与模具形状一致性的能力。成形过程中若产生起皱、塌陷等缺陷,均会降低零件的贴模性。

定形性是指零件脱模后保持其在模内既得形状的能力。零件脱模后回弹会造成零件形状与尺寸的误差。

板料的脱模性和定形性是决定零件形状和尺寸精度的重要因素,但材料破裂性是作为评定板料冲压成形性能的重要指标,它主要取决于表 1-4 所列示的六项性能指标。

表 1-4 金属材料的冷压成形性能

性能名称	表示符号	性能特点及意义
屈服点	σ_s	σ_s 值小,材料容易屈服,变形抗力小,产生相同变形所需变形力就小 当压缩变形时,因易于变形而不易出现起皱,对弯曲变形回弹小,即贴模性与定形性均好
屈服比	σ_s/σ_b	屈服比小容易产生塑性变形而不易产生拉裂,尤其是对压缩类变形中的拉深变形,从产生屈服至拉裂有较大的塑性变形区间,利于产生塑性变形 当变形抗力小而强度高时,变形区的材料易于变形不易起皱,而传力区的材料又有较高强度而不易出现拉裂,有利于提高拉深变形的变形程度
伸长率	δ	δ 表示板料产生均匀、稳定塑性变形的能力,直接决定板料在伸长类变形中的冲压成形性能,是翻孔或扩孔成形性能的最主要参数
硬化指数	n	n 值表示材料在塑性中的硬化程度。 n 值大材料冷作硬化严重,真实应力增加大,拉深时变形过程不均匀,出现集中缩颈变形被拉断 但伸长类变形的胀形, n 值大则使变形均匀,变薄减小,厚度分布均匀且表面质量好,增大了极限变形程度,零件不易产生裂纹
厚向异性系数	r	厚向异性系数是指单向拉深试样宽度方向应变和厚度方向应变的比值,即 $r = \epsilon_b/\epsilon_t$,是表示板料在厚度方向上的变形能力。 r 值越大,表示板料越不易在厚度方向上产生变形,即不易出现变薄或增厚 拉深中,当 r 值增大时,板料易于在宽度方向上变形,可减小起皱的可能性,而板料受拉处厚度不易变薄,又使拉深不易出现裂纹。因此 r 值大时,有助于提高拉深变形程度
板平面各向异性系数	Δr	板平面内形成各项异性系数是用纵向试样的厚向异性系数 r_0 、横向试样的厚向异性系数 r_{90} 、与轧制方向成 45° 的厚向异性系数 r_{45} 三者代数和的一半表示,即 $\Delta r = (r_0 + r_{90} - r_{45})/2$;且 Δr 值越大,表示板面内各向异性越严重,拉深时越易在零件端部出现不平整的凸耳现象,既浪费材料又要增加一道修边工序

2. 成形极限参数

板料在成形过程中可能出现两种失稳现象：一种是板料在拉应力作用下局部出现缩颈或断裂，称为拉伸失稳；另一种是板料在压应力作用下出现起皱，称为压缩失稳。

板料无论在任何一种失稳之前，可以达到的最大变形程度即为成形极限。成形极限分为总体成形极限和局部成形极限。至于总体和局部成形的区分，一般以零件的相对高度和拉深系数间的关系来衡量，如图 1-5 所示。

(1) 总体成形极限 图 1-5a 中的第一段曲线称之为完全拉深，过极限成形系数点后，进入部分拉深阶段，此段零件的许可成形高度与完全拉深阶段相比，已急剧下降，若再加力将使零件面临拉穿和破裂的危险。

由图 1-5b 的拉深力曲线也可看出，最大拉深力是拉深开始后不久、完全拉深阶段发生的。因此，总体成形极限反映材料失稳前总体尺寸可以达到的最大变形程度，如极限拉深系数、极限胀形高度和极限翻孔系数等（表 1-5）。这些系数通常作为规则形状板料零件工艺设计的重要依据。

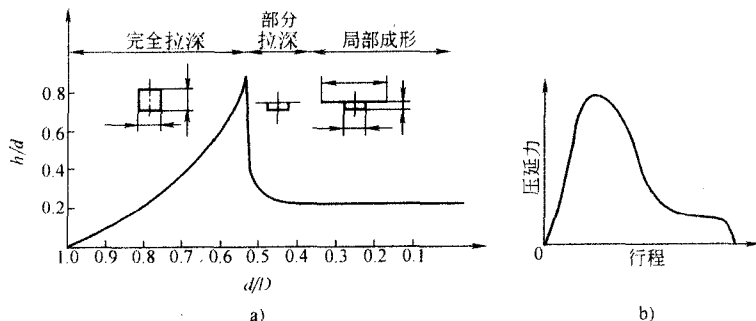


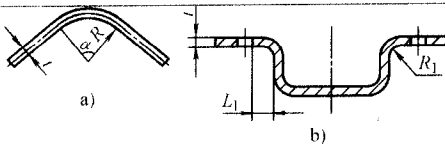
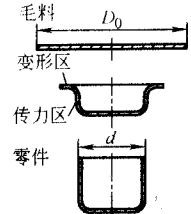
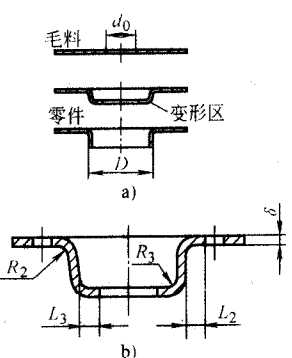
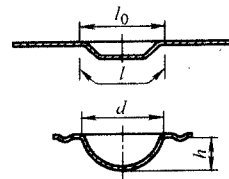
图 1-5 总体成形与局部成形区分

a) 拉深和局部成形的区分 b) 拉深力曲线

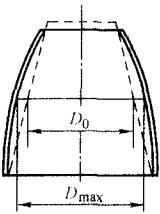
表 1-5 金属冷作形变的基本方式、类型与极限

变形趋向	简 图	变形类型	变形极限
冲裁		切断	冲裁极限尺寸 $孔_{min} \geq (0.4 \sim 1.5)t$ $孔边距_{min} \geq t \sim 1.5t$

(续)

变形趋向	简 图	变形类型	变形极限
弯曲		伸长类变形	相对弯曲半径 $r_{\min} = \frac{R}{t}$
拉深		压缩类变形	拉深系数 $m = \frac{d_0}{D}$
翻边		伸长类变形	翻边系数 $K_{\min} = \frac{d_0}{D}$
局部成形		压缩类变形	平均伸长率 $\delta = \frac{l - l_0}{l_0}$ 相对高度 $\frac{h}{d}$

(续)

变形趋向	简 图	变形类型	变形极限
胀形		伸长类变形	胀形系数 $K_z = \frac{D_{\max}}{D_0}$

(2) 局部成形极限 局部成形极限则反映板料失稳前, 局部尺寸可以达到的最大变形程度, 如复杂零件成形时, 局部极限应变即属于局部成形极限。

表 1-5 中的局部伸长类成形, 常用艾利克辛试验 (杯突试验)、液压胀形试验等衡量各种材料的极限突杯值。艾利克辛试验装置及试验标准突杯值如图 1-6a、b 所示。各种金属材料的突杯试验可见我国标准 GB4156—1984。

由于复杂件变形的不均匀性, 板料各处变形差异很大, 局部成形极限应变可用成形极限图 (图 1-6c) 描绘零件上各点的变形程度, 以作为克服零件出现裂纹的重要工具。

图 1-6c 表明, 在压拉应变状态下, 可以减小短轴方向流入凹模的阻力, 而在双向受拉力的应变状态下, 可以增加短轴方向流入凹模的阻力, 从而使零件从破裂区转入安全区, 使零件成形获得成功。成形极限越高, 说明板料的冲压成形性能越好。

1.1.3 冷作形变与控制

根据板料毛坯变形区厚度方向的变化特征, 可将冷作金属塑性变形分为常见的伸长类变形和压缩类变形两种类型, 以及弯曲、拉深、翻边、胀形、局部成形等五种变形方式 (见表 1-5)。下面介绍各类或每种变形产生的变化特征、失稳形式及控制措施。

(一) 冷作形变特征及类型

1. 冷作形变特征

(1) 应力应变特征 在伸长类变形时, 变形区的平均应力为正值, 且三个方向上的应力中绝对值最大的为拉应力, 与之相对应的变形为正变形, 该方向的变形为伸长变形。压缩类变形与之相反。

(2) 厚度变化特征 伸长类变形时变形区厚度减薄, 称之为“减薄型”变形; 而压缩类变形时变形区厚度增厚, 称之为“增厚型”变形。