

机电实用技术手册系列

新编

实用冲压模具 设计手册

曹立文 王冬 丁海娟 郭士清 编



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

机电实用技术手册系列

新编 实用冲压模具 设计手册

曹立文 王冬 丁海娟 郭士清 编

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

新编实用冲压模具设计手册 / 曹立文, 王冬, 丁海娟, 郭士清编. —北京: 人民邮电出版社, 2007.10
(机电实用技术手册系列)
ISBN 978-7-115-15986-1

I. 新… II. ①曹…②王…③丁…④…郭 III. 冲模—设计—技术手册 IV. TG385.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 039085 号

内 容 提 要

本手册是一本内容较为全面和系统的工具书, 主要介绍了冲压模具设计基础, 冲裁模、弯曲模、拉深模、成形模、复合模、多工位级进模和特种模具的设计与制造, 冲压模具的寿命和安全措施, 以及冲压模具零件标准等内容。

本手册既可供模具设计人员和工艺人员使用, 也可供高等院校、科研单位相关科研人员参考, 还可作为大学本科及高等职业院校模具设计与制造专业的教材或教学参考资料。

机电实用技术手册系列

新编实用冲压模具设计手册

-
- ◆ 编 曹立文 王 冬 丁海娟 郭士清
责任编辑 李育民
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 27.75
字数: 672 千字
印数: 1—4 000 册
- 2007 年 10 月第 1 版
2007 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-15986-1/TN

定价: 48.00 元

读者服务热线: (010) 67134361 印装质量热线: (010) 67129223

前 言

PREFACE

随着我国制造业的不断发展，新技术的应用越来越广泛，国内和国际企业间的技术合作日益加强，社会生产更加注重规范和标准的采用，产品也更加注重互换性。为此，各生产企业需要使用统一标准来指导生产过程。

为了方便广大工程设计人员及生产人员使用行业标准指导设计和生产，我们编写了机电实用技术手册系列图书。该系列图书共 12 册，涵盖了从传统的机械加工技术到现代的新型加工技术等各个方面的内容，为各行业的工程设计人员及生产加工人员提供了翔实的设计资料。

由于冲压具有生产率高、操作简便、适于大批量生产等优点，因而，冲压技术在航空、航天、汽车、电子、仪器仪表、工程机械、家用电器、日用五金以及轻工产品生产等行业得到了广泛的应用。冲压模具是实现冲压技术不断创新发展的关键和不可缺少的重要工艺装备。

本手册主要介绍冲压工艺设计、冲压模具设计与制造方面的实用知识。其特点是以创新设计和技术应用为主线，使手册内容与模具工业的生产实践紧密结合，在突出实用性的同时，兼顾了模具技术发展的前瞻性与导向性，充分体现了模具设计的创新思路、理论和方法，集中反映了当代模具技术的科研成果与发展方向。手册在编写过程中，力求纳入较新和较完整的冲模设计资料，以期对读者有切实的启发和帮助。

本手册第二、七章由曹立文编写；第三、五、六章和附录由王冬编写；第一、四、八章由丁海娟编写；第九、十章由郭士清编写；另外，参加编写的人员还有宋义林、毕永利、张忠林、王臣业、张新宇、冯凭、张霞等。本手册在编写过程中，得到了沈精虎、许曰滨、黄业清、姜勇、高长铎、田博文、谭雪松、杜俭业、向先波、毕丽蕴、郭万军、詹翔、冯辉、王海英、李仲、赵治国、赵晶、朱凯、臧乐善、郭英文、计晓明、尹志超、滕玲、张艳花、董彩霞、郝庆文等同志的帮助，同时还借鉴了许多同行优秀的手册及著作，在此向他们一并表示感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有疏漏和不当之处，诚请读者批评指正。

编者

2007年4月

目 录

CONTENTS

第一章 模具设计基础	1
第一节 冲压的基本工序	1
一、基本工序的分类	1
二、分离工序的类别与基本工序	1
三、成形工序的类别与基本工序	1
四、基本工序的构成	3
第二节 冲压常用材料	4
一、常用材料的机械性能	4
二、常用材料的规格及其公差	8
三、常用钢铁材料硬度值和极限抗拉强度对照	19
第三节 弹簧的选用与计算	21
一、圆柱螺旋压缩弹簧	21
二、碟形弹簧	26
第四节 橡皮和聚氨酯的选用与计算	30
一、橡皮的选用与计算	30
二、聚氨酯弹性体尺寸及其压缩量与工作负荷关系	31
第五节 冲压设备的选择	32
一、设备类型的选择	32
二、设备规格的选择	33
三、主要设备类型与规格	35
第二章 冲裁模	38
第一节 冲裁变形过程分析	38
一、冲裁变形过程	38
二、冲裁变形的受力与应力分析	39
三、冲裁件的质量及其影响因素	40
第二节 冲裁件的工艺性	43
一、冲裁件的结构与尺寸	43
二、冲裁件的精度与断面粗糙度	45
三、冲裁件的材料	50
第三节 冲裁间隙	50

一、间隙对冲压力的影响	51
二、间隙对模具寿命的影响	51
三、冲裁间隙的确定	52
第四节 凸、凹模刃口尺寸的确定	55
一、凸、凹模刃口尺寸计算的原则	55
二、凸、凹模刃口尺寸的计算方法	55
第五节 排样	59
一、材料的利用率	59
二、排样方法	60
三、搭边与条料宽度的确定	61
四、排样图	66
第六节 冲压力与压力中心的计算	66
一、冲压力的计算	66
二、压力机公称压力的确定	69
三、降低冲裁力的方法	70
四、压力中心的计算	72
第七节 冲裁模的结构	76
一、冲裁模的分类	76
二、冲裁模的结构组成	77
三、冲裁模的典型结构	78
第八节 冲裁模零部件的设计与选用	82
一、工作零件	83
二、定位零件	101
三、卸料与出件装置	108
四、出件装置	111
五、模架及其零件	113
六、其他支承与固定零件	115
七、紧固件	119
八、冲模的标准组合	120
第九节 冲裁模零件的制造	121
一、工作零件的加工	121
二、卸料板与固定板的加工	123
三、模座及导向零件的加工	124
第十节 冲裁模的装配与调试	124
一、冲裁模的装配	124
二、冲裁模的调试	128
第十一节 冲裁模设计与制造步骤及实例	129
一、冲裁模设计与制造步骤	129
二、冲裁模设计与制造实例	133

第三章 弯曲模	141
第一节 弯曲变形过程	141
一、弯曲变形过程及特点	141
二、塑性弯曲时变形区的应力与应变状态	143
第二节 弯曲件的质量控制	143
一、弯裂及其控制	144
二、回弹及其控制	147
三、偏移及其控制	153
四、翘曲与剖面畸变	154
第三节 弯曲件的工艺性	155
一、弯曲件的结构与尺寸	155
二、弯曲件的精度	157
三、弯曲件的材料	157
第四节 弯曲件的展开尺寸计算	157
一、弯曲中性层位置的确定	157
二、弯曲件展开尺寸计算	158
第五节 弯曲力的计算	162
一、自由弯曲和校正弯曲时的弯曲力	162
二、顶料力或压料力	163
三、压力机公称压力的确定	163
第六节 弯曲件的工序安排	164
第七节 弯曲模的典型结构	165
一、弯曲模的分类与设计要点	165
二、弯曲模的典型结构	165
第八节 弯曲模工作零件的设计与制造	169
一、弯曲模工作零件的设计	169
二、弯曲模工作零件的制造	172
第九节 弯曲模的装配与调试	172
一、弯曲模的装配	172
二、弯曲模的调试	172
第十节 弯曲模设计与制造实例	173
一、零件的加工分析	174
二、模具结构方案的确定	174
三、有关工艺与设计计算	174
第四章 拉深模	178
第一节 拉深变形过程	178
一、拉深变形过程及特点	178
二、拉深过程中坯料内的应力与应变状态	180
三、拉深件的主要质量问题及控制	181

第二节 拉深件的工艺性	182
一、拉深件的结构与尺寸	182
二、拉深件的精度	183
三、拉深件的材料	184
第三节 旋转体拉深件坯料尺寸的确定	184
一、确定拉深毛坯形状和毛坯尺寸的方法	184
二、简单旋转体拉深件坯料尺寸的确定	186
三、复杂旋转体拉深件坯料尺寸的确定	192
第四节 圆筒形件的拉深工艺计算	192
一、拉深系数及其极限	192
二、圆筒形件的拉深次数	195
三、圆筒形件各次拉深工序尺寸的计算	196
第五节 拉深力、压料力的计算与压边装置	197
一、拉深力的计算	197
二、压边力的计算	200
三、压边装置	201
四、压力机公称压力的确定	203
五、拉深功的计算	203
第六节 其他形状零件的拉深	204
一、带凸缘圆筒形件的拉深	204
二、阶梯圆筒形件的拉深	207
三、盒形件的拉深	208
第七节 拉深工艺的辅助工序	212
一、润滑	212
二、热处理	213
三、酸洗	214
第八节 拉深模的典型结构	215
一、单动压力机上使用的拉深模	215
二、双动压力机上使用的拉深模	218
第九节 拉深模工作零件工作部分参数	220
一、凸、凹模的结构	220
二、凸、凹模的圆角半径	221
三、凸、凹模间隙	222
四、凸、凹模工作尺寸及制造公差	223
五、拉深凸模的出气孔尺寸	225
第十节 拉深模的装配与调试	225
第十一节 拉深模设计与制造实例	226
第五章 成形模	231
第一节 胀形	231

一、胀形的特点	231
二、胀形系数	231
三、胀形力	232
四、毛坯尺寸计算	233
五、胀形模设计要点	233
六、胀形模设计实例	234
第二节 翻孔与翻边	236
一、翻孔	236
二、翻边	238
三、翻孔、翻边模的结构	240
四、翻孔、翻边复合模设计实例	242
第三节 缩口	244
一、缩口变形特点及变形程度	244
二、缩口的工艺计算	246
三、缩口模结构与设计要点	247
四、缩口模设计实例	248
第四节 校平与整形	250
一、校平	251
二、校平力的计算	252
三、整形	252
第六章 复合模	255
第一节 复合模的特点	255
第二节 最小壁厚	255
第三节 复合模的正装与倒装	256
一、正装式与倒装式复合模的结构	256
二、正装式与倒装式复合模的选择	257
第四节 复合模的卸料装置	258
第五节 典型结构	260
一、正装式落料—冲孔复合模	260
二、成形—冲孔—切断复合模	260
三、倒装式落料—冲孔复合模	261
四、落料—拉深—成形—冲孔复合模	262
五、正装式落料—拉深复合模	262
六、落料—拉深—翻边复合模	262
七、正反拉深复合模	264
第七章 多工位级进模	265
第一节 多工位级进模的特点与分类	265
一、多工位级进模的特点	265
二、多工位级进模的分类	265

第二节 多工位级进模的排样设计	266
一、排样设计的原则及考虑的因素	267
二、载体设计	268
三、冲切刃口设计	270
四、定距设计	271
第三节 多工位级进模的典型结构	274
一、冲孔—落料多工位级进模实例	275
二、冲裁—拉深—翻孔多工位级进模实例	278
第四节 多工位级进模的结构设计与制造要点	280
一、多工位级进模的结构设计	280
二、多工位级进模的制造	289
第八章 特种模具	293
第一节 精冲模	293
一、精冲的工作原理	293
二、精冲件的工艺性	293
三、排样和搭边	295
四、精冲件的精度	296
五、精冲间隙及凸、凹模刃口尺寸的确定	297
六、齿圈的结构	298
七、精冲压力的计算	299
八、精冲模的结构	301
第二节 光洁冲裁模	302
第三节 硬质合金模	305
一、硬质合金材料的选用	305
二、冲裁模对制件及排样的要求	306
三、冲裁模的设计要求	306
四、典型结构	307
第四节 锌合金模	308
一、锌合金模的特点与应用	308
二、锌合金材料的要求	309
三、锌合金冲裁模	310
四、其他锌合金模	314
第五节 聚氨酯橡胶模	318
一、聚氨酯橡胶模的特点与应用	318
二、聚氨酯橡胶冲裁模	318
三、其他聚氨酯橡胶模	323
第六节 钢带冲模	323
一、钢带冲模的结构	324
二、钢带冲模的设计与制造	325

三、模体以及顶件与卸料器	327
第七节 叠层薄钢板冲模	327
一、基模材料及制造	328
二、叠层薄钢板的技术要求及薄钢板刀口的制作	328
三、垫板	329
四、薄钢板的安装固定	329
五、叠层薄钢板冲模凸、凹模的间隙	329
六、叠层薄钢板冲模的应用	329
第九章 冲压模具的寿命及安全措施	331
第一节 冲压模具寿命	331
一、冲模的工作条件及失效形式	333
二、影响冲模寿命的因素及提高冲模寿命的措施	338
第二节 冲压模具安全技术	344
一、冲压生产中产生事故的原因及易出现的安全问题	344
二、冲压模具的安全措施	345
第十章 冲模常用标准件选编	351
第一节 冲模主要零件	351
一、工作零件	351
二、定位零件	361
三、卸料、顶、推零件	366
四、导向零件	371
五、模架与模座	381
六、模柄	407
七、紧固连接件	410
八、冲模上的螺钉孔和销钉孔	412
第二节 冲模零部件主要技术条件	414
一、冲模零件技术要求	414
二、冲模模架技术条件(摘自 JB/T8050—1999)	416
三、冲模模架零件技术条件(摘自 JB/T8070—1995)	417
附录 冲压术语	419
一、冲模	419
二、冲模零件	421
三、冲模设计术语	425
四、圆凸模结构要素	427
五、圆凹模结构要素	428
参考文献	430

第一章 模具设计基础

冲压是通过模具对板材施加压力或拉力，使板材塑性成形，或对板材施加剪切力而使板材分离，从而获得一定尺寸、形状和性能的一种零件加工方法。由于冲压加工经常在材料冷状态下进行，因而也称冷冲压。冲压加工的原材料一般为板材或带材，故也称板材冲压。

第一节 冲压的基本工序

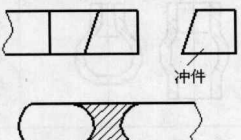
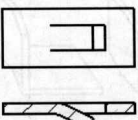
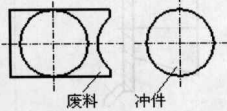
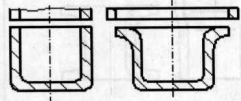
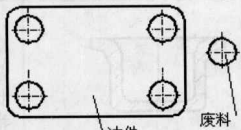
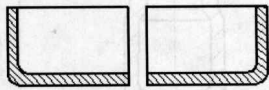
一、基本工序的分类

由于冲压加工的零件种类繁多，各类零件的形状、尺寸和精度要求又各不相同，因而生产中采用的冲压工艺方法也是多种多样的。冲压加工基本工序按材料的变形性质可分为材料的分离工序和成形工序两大类；按基本变形方式的不同又可分为冲裁、弯曲、拉深和成形 4 种基本工序，每种基本工序还包含有多种单一工序。

二、分离工序的类别与基本工序

分离工序是指使坯料沿一定的轮廓线分离而获得一定形状、尺寸和断面质量的冲压件（俗称冲裁件）的工序，主要包括切断、冲裁、切口和切边等。其特点是板料受力达到抗剪强度 τ ，使其一部分与另一部分相互分离，见表 1-1。

表 1-1 分离工序

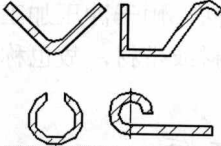
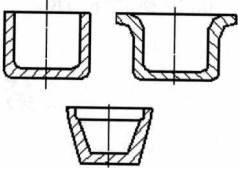
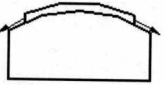
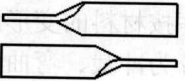
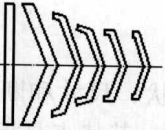
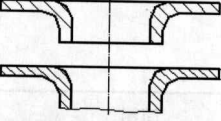
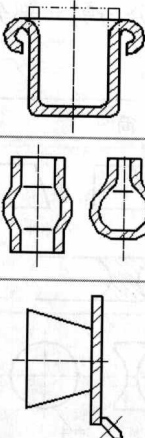
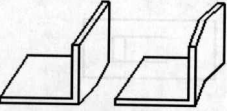

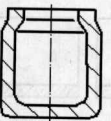
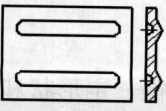
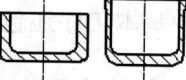
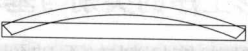
工序名称	简图	特点	工序名称	简图	特点
切断		用剪刀或冲模切断板料，切断线不封闭	切口		在板料上沿不封闭线冲出缺口，切口部分发生弯曲
冲裁	落料 	用冲模沿封闭线冲切板料，冲下来的部分为冲件	冲裁	切边 	将工件的边缘部分切除
	冲孔 	用冲模沿封闭线冲切板料，冲下来的部分为废料		剖切 	将工件切开成两个或多个零件

三、成形工序的类别与基本工序

成形工序是指使坯料在不破裂的条件下产生塑性变形而获得一定形状和尺寸的冲压件的

工序，主要包括弯曲、拉深和成形等。其特点是板料的受力超过其屈服极限 σ_s ，小于强度极限 σ_b ，从而使其产生塑性变形并得到一定的形状，见表 1-2。

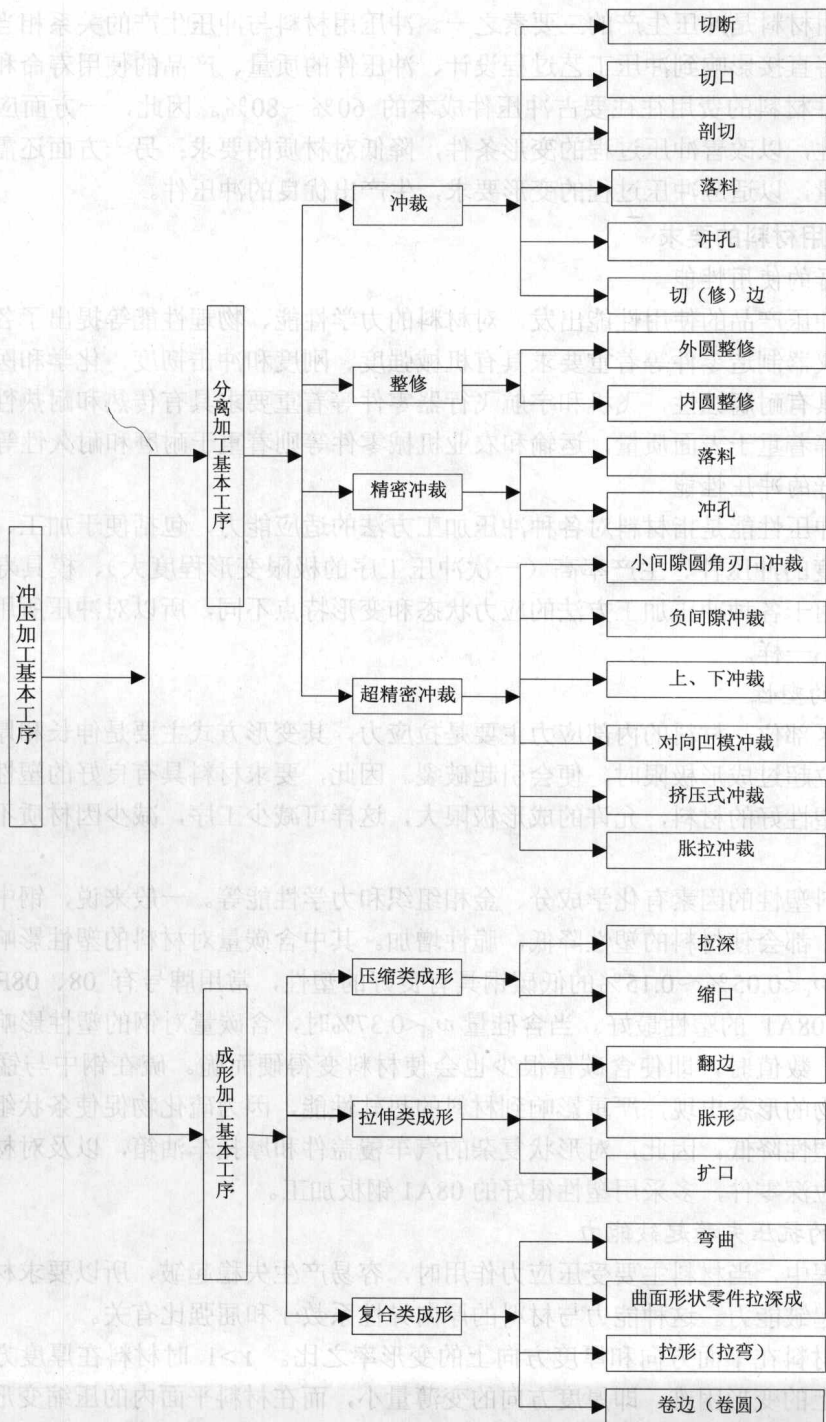
表 1-2 成形工序

工序名称	简图	特点	工序名称	简图	特点
弯曲		将板料沿直线弯成一定的角度和曲率	拉深		把平板坯料制成开口空心件，壁厚基本不变
		在拉力和弯矩共同作用下，实现弯曲变形			
		把工件的一部分相对另一部分扭转成一定角度			
		通过一系列轧辊，把平板卷料辊弯成复杂形状			
成形		沿工件上孔的边缘翻出竖立边缘	成形		把空心件的口部卷成接近封闭的圆形
		沿工件的外缘翻起弧形的竖立边缘			
		把空心件的口部扩大			
		把空心件的口部缩小			
		依靠材料的伸长变形，使工件形成局部凹陷或凸起			
			拉深		把空心件进一步拉深成侧壁比底部薄的零件
			卷缘		
			胀形		
			旋压		
			整形		依靠材料的局部变形，少量改变工件形状和尺寸，以提高其精度
			校平		将有拱弯或翘曲的平板形件压平，以提高其平面度

四、基本工序的构成

冲压加工基本工序的构成见表 1-3，此表同时展示了冲压加工工序分类体系。

表 1-3 冲压加工基本工序分类系统



第二节 冲压常用材料

一、常用材料的机械性能

冲压所用材料是冲压生产的三要素之一。冲压用材料与冲压生产的关系相当密切，材料质量的好坏将直接影响到冲压工艺过程设计、冲压件的质量、产品的使用寿命和冲压件的成本等。冲压件材料的费用往往要占冲压件成本的 60%~80%。因此，一方面应提高冲压件结构的工艺性，以改善冲压过程的变形条件，降低对材质的要求；另一方面还需要提高和稳定材料的质量，以适应冲压过程的变形要求，生产出优良的冲压件。

1. 冲压用材料的要求

(1) 良好的使用性能

从不同冲压产品的使用性能出发，对材料的力学性能、物理性能等提出了各种要求，例如，机械和仪器制造零件等着重要求具有机械强度、刚度和冲击韧度，化学和医疗仪器零件等着重要求具有耐腐蚀性，飞机和宇航飞行器零件等着重要求具有传热和耐热性能，汽车、摩托车零件等着重于表面质量，运输和农业机械零件等则着重于耐磨和耐久性。

(2) 良好的冲压性能

材料的冲压性能是指材料对各种冲压加工方法的适应能力，包括便于加工、容易得到高质量和高精度的冲压件、生产率高（一次冲压工序的极限变形程度大）、模具寿命长、不产生废品等。由于各种冲压加工方法的应力状态和变形特点不同，所以对冲压所用材料的冲压性能要求也不一样。

① 材料的塑性

在变形区部位，材料的内部应力主要是拉应力，其变形方式主要是伸长和厚度减薄。当主要变形部位超过成形极限时，便会引起破裂。因此，要求材料具有良好的塑性和塑性变形的稳定性。塑性好的材料，允许的成形极限大，这样可减少工序，减少因材质不良而产生的废品、次品。

影响材料塑性的因素有化学成分、金相组织和力学性能等。一般来说，钢中碳、硅、硫的含量增加，都会使材料的塑性降低，脆性增加。其中含碳量对材料的塑性影响最大，一般认为含碳量 $\omega_c \leq 0.05\% \sim 0.15\%$ 的低碳钢具有良好的塑性，常用牌号有 08、08F、08A1、10 等，其中以 08A1 的塑性最好。当含硅量 $\omega_{si} < 0.37\%$ 时，含碳量对钢的塑性影响不大，但当 ω_{si} 大于这一数值时，即使含碳量很少也会使材料变得硬而脆。硫在钢中与锰和铁相结合后，以硫化物的形态出现，严重影响到材料的热轧性能，因为硫化物促使条状组织产生，从而使材料的塑性降低。因此，对形状复杂的汽车覆盖件和摩托车油箱，以及对材料强度要求不高的复杂拉深零件，多采用塑性很好的 08A1 钢板加工。

② 材料的抗压失稳起皱能力

冲压过程中，当材料主要受压应力作用时，容易产生失稳起皱，所以要求材料具有良好的抗压失稳起皱能力。这种能力与材料的厚向异性系数 r 和屈强比有关。

r 值是材料在平面方向和厚度方向上的变形率之比。 $r > 1$ 时材料在厚度方向上的变形比平面方向上的变形困难，即厚度方向的变薄量小，而在材料平面内的压缩变形比较容易，

毛坯中间部分不易起皱，也就是抗压失稳起皱能力高。

屈强比 (σ_s/σ_b , σ_s 为屈服强度, σ_b 为抗拉强度) 小, 对于压缩类成形工艺有利。拉深时, 材料的屈服点 σ_s 低, 从而变形区的切向压应力小, 材料抗压失稳起皱能力高, 防止起皱所必需的压应力和摩擦损失都相应地降低, 有利于极限变形程度的提高。

③ 材料的表面质量

材料应具有良好的表面质量, 即材料的表面应光洁、平整和无锈等。在冲压过程中, 材料表面的裂纹、麻点、划痕、节疤和气泡等缺陷处将会产生应力集中而引起材料断裂。挠曲不平的材料表面会影响剪切和冲压时的定位精度, 从而形成废品或损坏冲头。

2. 常用冲压材料的性能

常用冲压材料的机械性能见表 1-4 至表 1-8。

表 1-4 钢在加热状态的抗剪强度

钢的牌号	加热到以下温度时的抗剪强度 τ (MPa)					
	20℃	500℃	600℃	700℃	800℃	900℃
A1, A2, 10, 15	353	314	196	108	59	29
A3, A4, 20, 25	441	441	235	127	88	59
A5, 30, 35	520	511	324	157	88	69
A6, 40, 45, 50	588	569	373	186	88	69

注: 1. 在用厚板料冲裁的实际工作中, 如因冲床力量不足而需要将材料加热时, 才采用本表数据。

2. 在计算所需要的力量时, 应用材料正在冲压时的温度。

3. 钢在冲压时的温度最好在 700~900℃。

4. 钢在蓝脆范围 (100~400℃) 内, 由于脆性增加得很快, 不进行任何加工。

表 1-5 有色金属的机械性能

材料名称	牌号	材料的状态	机械性能				
			τ (MPa)	σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	$\sigma_{10} \times 100$ ①	E ($\times 10^3$ MPa)
铝	L2, L3	已退火	78	74~108	49~78	25	71
	L5, L7	冷作硬化	98	118~147	—	4	
铝锰合金	LF21	已退火	69~98	108~142	49	19	70
		半冷作硬化	98~137	152~196	127	13	
铝镁合金 铝铜镁合金	LF2	已退火	127~158	177~225	98	—	69
		半冷作硬化	158~196	225~275	206	—	
高强度的铝铜镁合金	LC4	已退火	167	245	—	—	—
		淬硬并经人工时效	343	490	451	—	69
镁锰合金	MB1	已退火	118~235	167~186	96	3~5	43
		冷作硬化	186~196	235~245	157	8~10	39
	MB8	已退火	167~186	216~225	137	12~14	
硬铝 (杜拉铝)	LY12	已退火	103~147	147~211	—	12	—
		淬硬并经自然时效	275~304	392~432	361	15	71
		淬硬后冷作硬化	275~314	392~451	333	10	
		淬硬后冷作硬化	275~314	392~451	333	10	

材料名称	牌号	材料的状态	机械性能				
			τ (MPa)	σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	$\sigma_{10} \times 100$ ^①	E ($\times 10^3$ MPa)
紫铜	T1, T2, T3	软	157	196	69	30	106
		硬	235	294	—	3	127
黄铜	H62	软	255	294	—	35	98
		半硬	294	373	196	20	—
		硬	412	412	—	10	—
	H68	软	235	294	98	40	108
		半硬	275	343	—	25	
		硬	392	392	245	15	113
铅黄铜	HPb59-1	软	294	343	142	25	91
		硬	392	441	412	5	103
锰黄铜	HMn58-2	软	333	383	167	25	98
		半硬	392	441	—	15	
		硬	511	588	—	5	
锡磷青铜 锡锌青铜	QSn4-4-2.5 QSn4-3	软	255	294	137	38	98
		硬	471	539	—	3~5	
		特硬	490	637	535	1~2	122
铝青铜	QA17	退火	511	588	182	10	—
		不退火	549	637	245	5	
铝锰青铜	QA19-2	软	353	441	294	18	90
		硬	471	588	490	5	—
硅锰青铜	QSi3-1	软	275~294	343~373	234	40~45	118
		硬	471~511	588~637	530	3~5	—
		特硬	549~588	686~736	—	1~2	—
铍青铜	QBe2	软	235~471	294~588	245~343	30	115
		硬	511	647	—	2	129~138
钛合金	TA2	退火	353~471	441~588	—	25~30	—
	TA3		432~588	539~736	—	20~25	—
	TA5		628~667	785~834	—	15	102
镁锰合金	MB1	冷态	118~137	167~186	118	3~5	39
	MB8		147~177	225~235	216	14~15	40
	MB1	预热 300℃	29~49	29~49	—	50~52	39
	MB8		49~69	49~69	—	58~62	40

注：①指伸长率 σ_{10} 为 10% 时的机械性能。

表 1-6 黑色金属的机械性能

材料名称	牌号	材料的状态	机械性能				
			τ (MPa)	σ_b (MPa)	σ_s (MPa)	$\sigma_{10} \times 100$	E ($\times 10^3$ MPa)
电工用工业纯铁 $\omega_c \times 100 < 0.025$	DT1, DT2, DT3	退火	177	225	—	26	—
电工硅钢	D11, D12, D21, D31, D32, D41~ 43, D310~340	退火	190	230	—	26	—
普通碳素钢	Q195	未退火	—	315~390	195	32~33	—