旋压模具简单，且为局部变形。可用功率和吨位较小的设备加工大型零件，是其优点。但生产率低，操作较难，多用于批量小而形状复杂的零件[2]。

1.1.3 拉深过程中的常见问题

1．圆筒形件拉深时的起皱及其防止措施

在拉深过程中，假如毛坯的相对厚度较小，则拉深毛坯变形区，即毛坯的法兰部分，在切向压应力的作用下，很可能因为失稳而发生起皱现象。毛坯严重起皱后，由于不能通过凸模与凹模之间的间隙而被拉断，造成废品。即使轻微起皱的毛坯，可能勉强地通过，但也还会在零件的侧壁上遗留下起皱的痕迹，影响拉深件的表面质量。因此，一般说来，拉深过程中的起皱现象是不允许的，必须设法消除。最常用的防止拉深毛坯变形区起皱的方法，是在拉深模上设置压边圈。拉深过程中影响毛坯是否起皱的主要原因有：

1）毛坯的相对厚度$\frac{t}{D_0}$　板料毛坯的相对厚度越小，拉深变形区抗失稳的能力越差，也越容易起皱。

2）拉深系数$\frac{d}{D_0}$　拉深系数越小，拉深变形程度越大，拉深变形区内金属的硬化程度也越高，所以切向压应力的数值也相应地增大。另一方面，拉深系数越小，拉深变形区的宽度越大，所以其抗失稳的能力变小。上述两个因素综合作用的结果，都使拉深系数较小时毛坯的起皱趋向加大。反之，当拉深系数较大时，拉深变形程度较小，材料的硬化也不严重，所以切向压应力也比较小。同时，由于法兰边的宽度小，毛坯内部的直壁对法兰边的支撑作用加强，可以提高它的抗失稳能力，因而不易起皱。有时虽然毛坯的相对厚度较小，但是由于拉深系数较大，拉深时毛坯也不会起皱，可以不用防皱压板。高度很小的浅拉深件即属于这种情况。

3）凹模工作部分的几何形状　与普通的平端面凹模相比，用锥形凹模拉深时，允许用相对厚度较小的毛坯而不致起皱。与平面环形的毛坯变形

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

区相比(指用普通平端面凹模拉深)，这种曲面形状的毛坯变形区具有更大的抗失稳能力，结果是减小了起皱的趋向。

另外，用锥形凹模拉深时，由于建立了对拉深变形极为有利的条件：如凹模圆角半径造成的摩擦应力和弯曲变形的阻力都减到很低的程度；凹模锥面对毛坯变形区的作用力也有助于使它产生切向压缩变形等等，拉深所需的冲头作用力比平端面凹模时要小的多，因此，可以采用很小的拉深系数。

从不容易起皱的要求来看，锥形凹模的角度应取 30º~60º，而从减小拉深力出发，凹模的角度应为 20º~30º。为了兼顾这两方面的要求，在生产中通常采用 30º的锥角。在设计工艺过程时，必须判断某一零件在拉深过程中是否会发生起皱现象。如果该零件拉深时，毛坯不致起皱，则应当采用结构简单的不带压边装置的冲模，这时也可以考虑用较小的拉深系数。准确地判断拉深时毛坯是否起皱，是个相当复杂的问题，在生产中可以利用下边的公式做概略的估计。用锥形凹模拉深时，毛坯不致起皱的条件是：

$$\frac{t}{D_0} \geq 0.03(1-m)$$

$$\frac{t}{d} \geq 0.03(K-1)$$

用普通的平端面凹模拉深时，毛坯不致起皱的条件是：

$$\frac{t}{D_0} \geq (0.09 \sim 0.17)(1-m)$$

$$\frac{t}{d} \geq (0.09 \sim 0.17)(K-1)$$

式中 t——板料的厚度

d——拉深件的直径

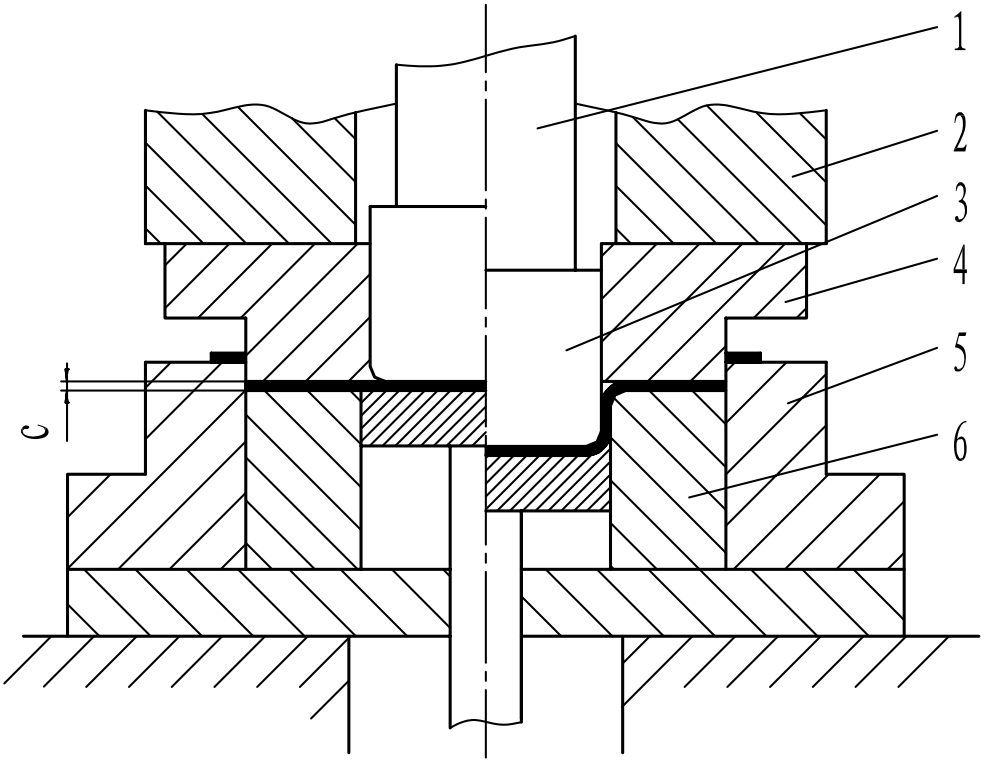
D_0——毛坯的直径

$m = \frac{d}{D_0}$——拉深系数

$K = \frac{1}{m} = \frac{D_0}{d}$——拉深程度，也叫拉深比

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

假如拉深零件的尺寸和拉深系数的数值关系不符合上述的条件时，则在拉深过程中毛坯的变形区就会起皱，在这种情况下，必须用防皱压板(或称压边圈)把毛坯的起皱部分紧紧地压在凹模平面上，并使毛坯在压边圈与凹模平面之间的缝隙中通过，用这种办法制止毛坯的起皱现象。



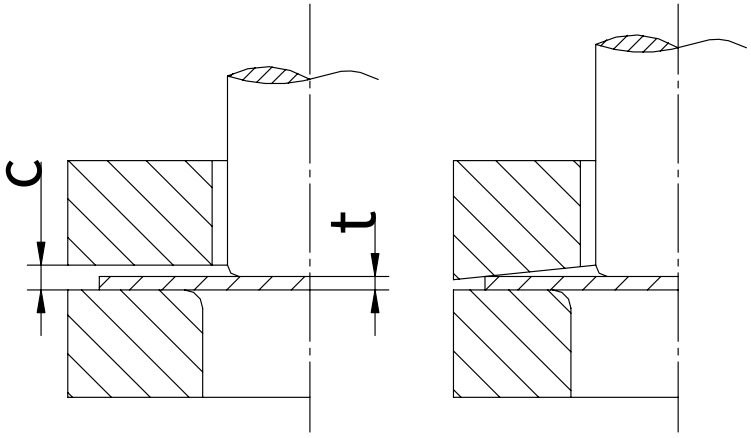
1．内滑块　2. 外滑块 3. 拉深凸模 4. 落料凸模兼压边圈
5. 落料凹模　6. 拉深凹模

图 1-2　双动冲床用拉深模刚性压边原理

防皱压边图的结构形式很多，但总体说起来可以分为用于双动冲床的刚性压边圈（如图 1-2）和用于单动冲床的弹性压边圈，后者包括以弹簧的作用防止起皱的弹簧垫、借助于压缩空气的作用或空气液压联动作用的气垫。刚性压边圈压边力的大小，靠调整压边圈和凹模之间的间隙 c 来调节。应使 c 值略大于材料厚度。一般取 c = (1.03~1.07)t，如图 1-3a 所示。也可将压边圈做成锥面，c = (0.2~0.5)t，如图 1-3b 所示。防皱压边圈的作用力应在保证毛坯的法兰部分不致起皱的前提下，选取尽量小的数值。防皱压力能够引起毛坯法兰部分与凹模平面和压边圈表面之间的摩擦阻力，而如

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

果这项摩擦阻力过大，就可能引起毛坯的破裂。为了使防皱装置能可靠地工作，通常取防皱压力 Q 的值稍大于防皱作用所需的最低值[1]。



a) 普通结构形状　　b) 锥面结构形状

图 1-3　刚性压边圈的结构形状

多道工序拉深时，可用反拉深防止起皱；此外，采用拉深筋或拉深槛(拉延筋)同样能有效地增加径向拉应力和减少切向压应力的作用，也是防皱的有效措施。

2．拉裂

圆筒件拉深时产生破裂的原因，可能是由于法兰起皱，坯料不能通过凸、凹模间隙，使σ_p增大；或者由于压边力过大，使σ_p增大；或者是变形程度太大，即拉深比$\frac{D}{d_1}$大于极限值。

要防止产生拉裂，应根据成形性能，采用适当的拉深比和压边力。增加凹模表面粗糙度，可以减小颈缩处的变薄。此外，材料的$\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$比值小、n 值和$\overline{R}$值较大，较难产生拉裂。

3．凸耳的出现

拉深后的圆筒端部出现凸耳。一般有四个凸耳，有时是两个或六个、甚至八个凸耳，产生凸耳的原因是毛坯的各向异性，它随角度的变化与 R 值的变化规律是一致的，在低 R 值的角度方向，板料变厚，筒壁高度较低。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

在具有高 R 值的方向，板料厚度变化不大，故筒壁高度较高。

4．残余应力

拉深后的圆筒中留有大量残余应力。外表面为拉应力，内表面为压应力，这是由于弯曲——反向弯曲所引起，靠近圆筒口部最大，因为弯曲发生在拉深后期，此处只有少量的拉伸。这种残余应力在筒壁产生弯曲力矩，它由筒壁端部附近的周向拉伸所平衡。这种周向拉伸应力的存在，会使筒壁由于应力腐蚀而开裂。若使板料变薄，整个断面产生屈服，便可大大减少残余应力。

5．回弹[3]

回弹对浅拉深零件的尺寸精度和生产效率也有极大的影响，轿车覆盖件就是典型的例子。随着市场对车身外观质量要求的不断提高，以及高强度钢板和铝板在车身中的广泛应用，回弹问题对覆盖件及其模具制造的消极影响越来越引起工程和研究人员的重视。由于涉及复杂的几何形状和边界条件，这类问题必须借助数值模拟技术，主要是有限元方法(FEM)来解决，一般的解析方法对此则无能为力。

复杂拉延成形件的回弹控制一般从两方面入手：一是通过改变成形过程边界条件，如毛坯形状、压边力、模具圆角、摩擦状态等因素来减小回弹，这一类方法可统称为工艺控制法。另一途径是在特定工艺条件下预测或实测回弹量的大小，然后通过修正模具形状使回弹后的零件形状恰好符合设计要求，即几何补偿法。在工程实际中两类方法一般联合应用，以达到最佳的效果。

1.2　拉深最近研究进展

1.2.1 拉深理论研究进展

对于一般形状、采用普通工艺的拉深成形，其力学分析相对简单，人们对影响成形质量的各种因素也都有了一定了解。当前的研究主要集中于对复杂成形件及新的成形工艺（如充液拉深）的各个成形质量的影响因素进行分析，从而达到工艺优化的目的。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net