

锻压模具模腔的排气孔设计

■ 钱进浩, 胡亚民

在开发塑料件和铸件设计相关成形模具时,都要考虑塑料模和铸模成形时模具型腔内气体的排出问题。如果不注意排气问题,就会导致塑料件和铸件充填不满,严重影响产品质量。在进行锻压模具设计时,更要非常重视锻压模具模腔排气孔的设计问题,否则有可能使模锻件充填不满,锻压件不符合质量要求。特别是在热模锻压力机上成形时,由于锻压设备的打击速度太快,模腔内的空气来不及逸出,情况比塑料和铸件成形更严重,在模腔底部的角隅处会产生很大的压力。不但使产品充填不满,而且严重影响模具寿命。这是众所周知的事实。为什么这里会产生很大压力?有人说,模腔一共才有多大容积?有多大一点点气体?其竟然能使模锻件充填不满?

其实,只要静下心来,采用初中物理学的知识就可以解释这个问题。

设气体在没有压缩前的体积为 V_1 ,压强为 p_1 ,压缩后的体积为 V_2 ,压强为 p_2 ,则有 $p_1V_1=p_2V_2$ 。

那么,压缩后的气体的压强为

$$p_1=p_2V_2/V_1$$

由于压缩后的气体体积 V_2 很小,趋近于零。虽然压缩前的气体体积 V_1 也小,但 V_2/V_1 的值就可能很大,因而,压缩后的气体压强为 p_2 上升。

所以,让压缩后的气体体积 V_2 趋近于零无济于事,反而使压力急剧加大。必须让压缩后的气体体积 V_2 保持为一个定值。“排气”的实质是将压缩前与压缩后气体所占的空腔与大气相通,其体积基本一致。这样就有

$$p_1 \approx p_2$$

因而,我们不能忽视模具设计中的排气问题。兹将我们在这方面的体会、实践经验和学习心得介绍如下。

1. 确保锻件充填饱满的排气孔或排气槽

(1) 锤锻模型腔内的排气孔 锤上模锻时,由于是多次打击,每次打击有时间间隔,模腔内的气体有时间排出;而锤上模

锻件的精度不是太高,允许棱角部位有较大的圆角存在。但热模锻压力机上模锻与锤上模锻不同,坯料金属在滑块的一次行程中完成变形。若模膛有深腔,聚积在深腔内的空气(位于坯料和型腔内壁之间)受到压缩,模锻时无法逸出,产生很大压力,阻止金属向模膛深处充填。因而坯料向最小阻力的方向流动,不容易充满模腔,模锻件的一些角隅部位不能充满。

一般应在模膛深腔金属最后充填处开设排气孔,使其与大气相通。如图1a所示。图1b所示排气孔的布置不正确,因为设计者没有考虑一般加工机床的刀具安装和运动空间,排气孔倾斜布置,难以加工。

排气孔的直径 d 可取为1.2~2.0mm,孔深为20~30mm,为避免细长孔,便于加工,可设计成阶梯孔。与型腔相连处为小

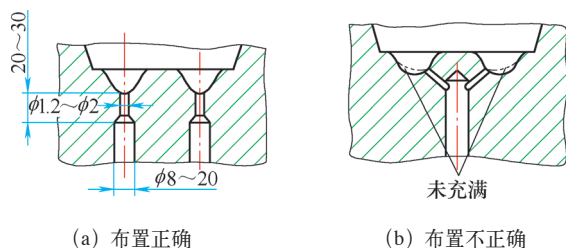


图1 排气孔的布置

孔，后端可设计为大孔，其孔径可根据具体锻件的形状尺寸取 $\phi 8 \sim \phi 20\text{mm}$ 通孔，与通道（大气）连通。

对环形模膛，排气孔一般对称设置。对深而窄的模膛一般只在底部设置一个排气孔。模膛底部有顶出器或其他排气缝隙时，不需要开排气孔。

(2) 模锻压力机锻模型腔底部的排气孔（缝）在设计模锻压力机模具时，往往在底部要设计顶出器，用于工作时作顶出运动，顶出预锻模膛或终锻模膛内的锻件。顶出器的位置，应根据锻件的具体情况而定。顶出器有时是模膛的一部分，在模锻时受载。但设计时应该注意尽量不使顶料杆受载。顶杆孔与顶杆之间留 $0.1 \sim 0.3\text{mm}$ 的间隙。

一般情况下，顶出器顶出锻件时应顶在锻件的飞边上或具有较大孔径的冲孔连皮上，顶在冲孔连皮上时，顶杆周围的间隙也起排气作用。

如果要将顶出器顶在锻件本体上时，应尽可能顶在加工面上，如图2所示。在这种情况下，顶杆周围的间隙可看作排气孔，也能排气。

图3表示某锻模模膛的局部，假定该位置是一个圆柱体枝

桠空腔，在模锻时，这个枝桠一般总是充填不满，存在较大的圆角。为了解决该问题，使充填饱满，通常在模腔枝桠末端设计排气孔，如图3a所示。但如何确定排气孔的孔径呢？必须认真考虑。排气孔孔径太大，不但影响整个锻件的成形，而且在锻件上的相应位置增加了一块与排气孔体积相当的金属，增加了去除的困难。如果排气孔孔径太小，在生产过程中排气孔可能被氧化铁皮、多余润滑剂堵塞，失去排气功能。

一副复杂型腔的模具，加工费和材料费都相当可观，不能在设计出气孔上慢慢做试验，耗费时间。有文献介绍了一种如图3b所示的带排气柱塞的排气孔。

其设计过程是这样的：将模膛的不易充填饱满（即图中之圆形枝桠）部位加长，加长的长度可随锻模的大小而定。一般与排气柱塞的端部高度相同，正好可容纳排气柱塞的端部。

再加工一件作为该排气柱塞为一带端部的杆，端部的外形和模腔内廓形状完全一致，如图3b所示，其实这排气柱塞端部成了模具型腔的一个组成部分。其周边与主体模膛的间隙就成了一圈环形槽，起出气孔作用。这里

因为枝桠是圆柱形，所以是一圈环形槽。如果模膛枝桠是其他形状，那么，这种排气柱塞端部的截面也可以是其他形状。

图3b中这种排气柱塞的杆部截面是较小的圆形，其可以在模膛的圆形枝桠的底部的孔内自由滑动。

排气柱塞的端部直径与锻模上的内孔直径间隙为 $0.5 \sim 1.0\text{mm}$ 。如果要进一步提高排气性能，可在头部外径上加工4根或多根直槽，槽宽为 $1.0 \sim 1.5\text{mm}$ 。直槽的数量和槽的宽度可在生产中调整。生产操作时，如果发现排气不畅，则说明排气孔可能有所堵塞，可用顶料杆将排气柱塞顶出清理，使模锻过程模腔排气通畅，确保锻件的成形品质。

一般在排气槽附近所受的锻压负载较小，对排气柱塞的材料和加工要求不高，用顶料杆将排气柱塞顶出清理的顶料力也不大，在生产上的实用性很强。

精密成形爪极（见图4）的侧向温挤压精锻模由上凹模、下凹模和上冲头等组成，如图5所示。这种模具在成形时迫使坯料金属在三向压应力状态下充填模腔。由于金属流动性好，利于竖爪成形。

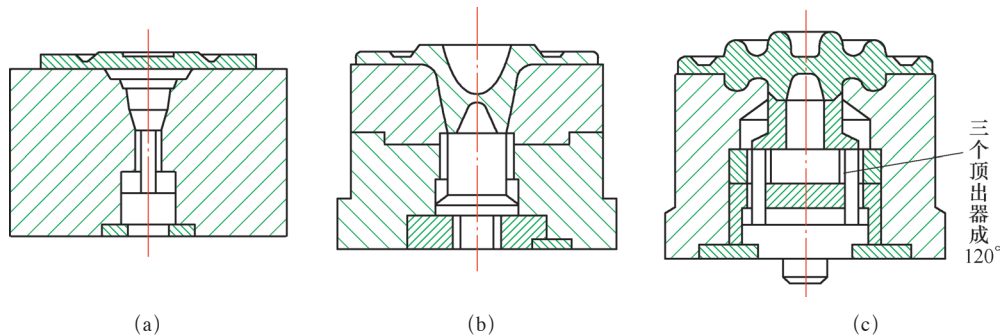


图2 顶出器兼排气孔

该模具的主要特征是下凹模上底面和水平面成一夹角 α ($\alpha = 5^\circ$)。竖爪入口处为圆角,半径 R 等于2mm;竖爪尖部加工了排气孔,这些结构都大幅减小了成形时金属的流动阻力。

(3) 分模模锻模上的排气孔 在多向模锻复杂形状锻件时,如在锻件最后充满的枝桠部位模腔末端,也常因锻件与模腔之间存在气体,使与锻件末端的角隅相对应的模腔部位不能完全充满,影响到锻件成品质量。

图6a为零件在分模模锻时,发现产品的底部角隅处充填不满或底部轮廓模糊,也是由于在分模模锻时该处的气体不能逸出。当在模具型腔内开设排气槽,如图6b所示。

图7a为零件在分模模锻时,发现产品的顶部充填不满,也是由于在分模模锻时该处的气体不能逸出。可在模具型腔顶部开设排气孔,如图7b所示。这样就使产品顶部充填饱满。

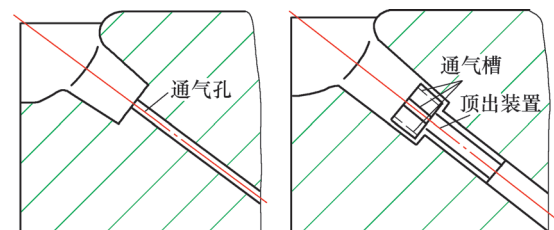
(4) 挤压冲头内的排气孔 有的反挤压模具上的组合冲头的冲头上的出气孔为阶梯孔。

在冲头上要设计有排气孔。图8为上海某厂设计的有排气孔的强力螺栓热挤压件图。螺栓材料为8Cr2Ni4WA。六角部位可以直接挤压成形,不用再机械加工。为了保证六角部分充满,避免塌角、圆角的产生,在凸模上应该加工一个出气孔。这样,有可能在挤压成形件上产生一个小凸起,如图9所示,可在后续机加工过程中去除。

图9为强力螺栓热挤压模工作部分。

图10为热挤压冲头。由图10可见,其出气槽的直径为3mm,长近100mm。这样的小深孔很难加工,因为不但是小孔,而且

钻削加工的深径比很大, $\phi 3\text{mm}$ 的小钻头在钻加工时容易折断。如果减小 $\phi 3\text{mm}$ 的小钻头的钻削深度,将 $\phi 3\text{mm}$ 孔设计成前



(a) 排气孔 (b) 排气柱塞

图3 多向模锻模具的排气设计

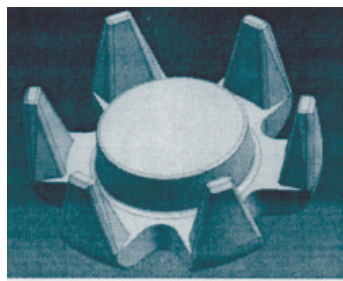


图4 爪极精锻件三维模型

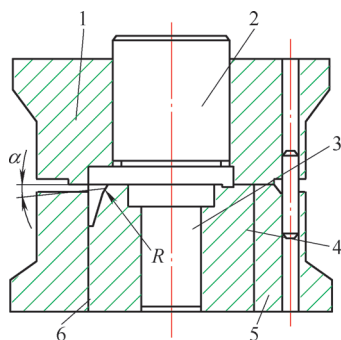
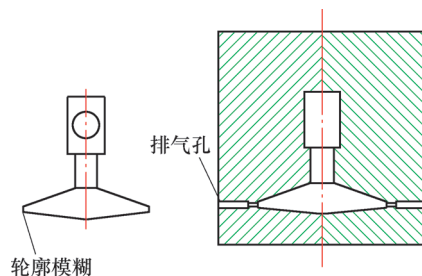


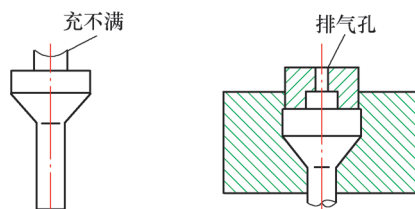
图5 侧向温挤压精锻模具结构简图

1. 上凹模 2. 上冲头 3. 下顶杆 4. 下凹模 5. 预应力圈 6. 排气孔



(a) 底部有缺陷的分模模锻件 (b) 底部开排气孔的分模模锻模具

图6 型腔底部开排气孔的分模模锻模具和分模模锻件



(a) 顶部有缺陷的分模模锻件 (b) 顶部开排气孔的分模模锻模具

图7 型腔顶部开排气孔的分模模锻模具和模锻件

面是 $\phi 3\text{mm}$ ，后面是 $\phi 8\text{mm}$ 或 $\phi 10\text{mm}$ 的两级阶梯孔，就容易加工得多。

图11是一副反挤压模具上的组合冲头。该组合冲头的冲头芯上的出气孔为阶梯孔。冲头芯直径为 24.68mm ，出气孔直径为 3mm ，深 15mm 。由于加工了出气孔，减少了反挤压成形力，延长了模具寿命。

在多位成形模上的冲头，其深锥孔型腔或一般模锻用模具深型腔的底部都应当设计排气孔。图12为一种带出气孔的多工位成形模上的冲头。

在设计摆辗模具时，也要注意在金属充填模具的过程中，摆辗模具型槽里的空气能够顺利排出，倘排出不畅，则会影响锥齿轮齿顶部的充填成形。

(5) 辊锻模内的排气槽
在履带节辊锻过程中，向模腔喷洒水基石墨冷却和润滑，在模腔表面附有水珠和润滑剂液滴。当坯料前端进入模腔，并将模腔封闭后，如图13所示，被封在模腔内的一部分水分，在 $950\sim 1000^\circ\text{C}$ 的坯料的高温下，迅速汽化、膨胀，使蒸汽压力剧增，当辊锻件脱模时，可听到气流强烈冲击的喷出声。

由于模膛里存在高压气体（包括水蒸气），影响金属充填模膛。使履带节后部出现充填不足的缺陷。另外，在履带节后部脱模的瞬间，高压气体急剧向后喷出，剧烈冲击模膛表面。经多次冲击后，在模膛表面出现沟槽，大幅降低模具寿命。在模具上出现沟槽后，将会在辊锻件上产生折叠。

模具表面这种沟槽是由浅及

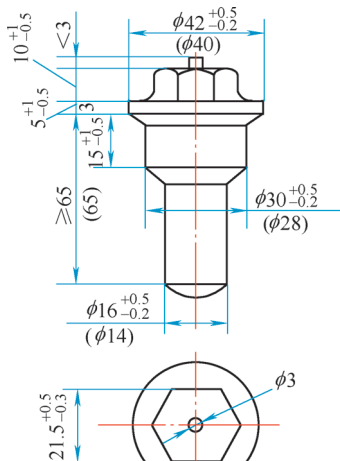


图8 强力螺栓挤压件

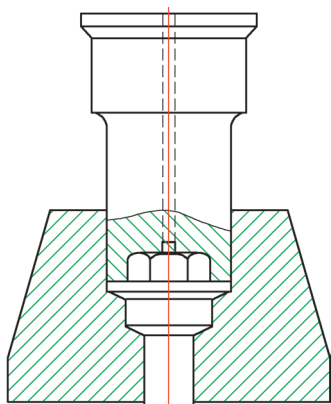


图9 强力螺栓热挤压模工作部分示意

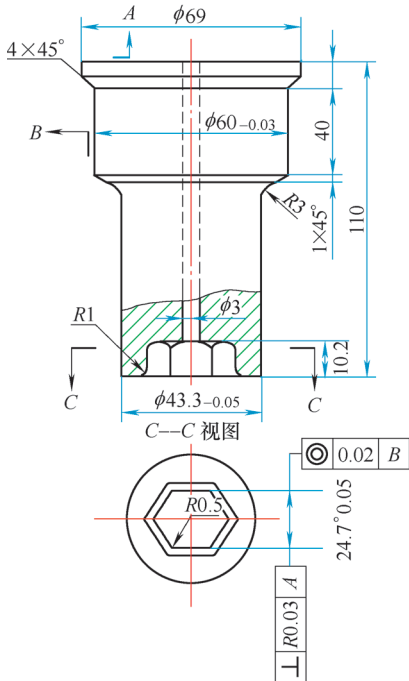


图10 强力螺栓热挤压用冲头

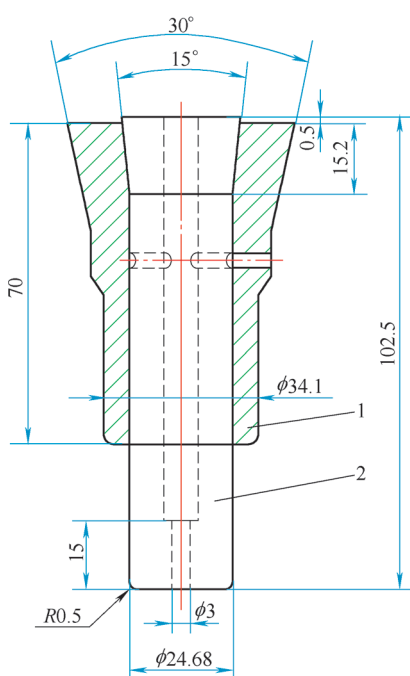


图11 挤压模具的组合冲头

1. 冲头 2. 冲头芯

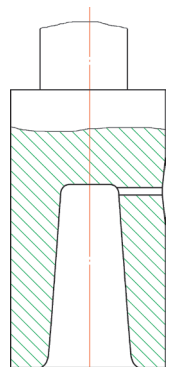


图12 一种带出气孔的多工位成形模上的冲头

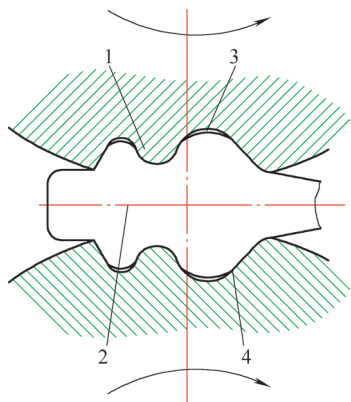


图13 辊锻过程中高压气体的产生示意

1. 辊锻模具 2. 某辊锻件 3. 模膛内的密封空间 4. 模膛表面出现沟槽的位置

深逐渐形成的，初期的沟槽很浅，不易发现。等到发现有明显的沟槽时，已在很多辊锻件上产生了折叠缺陷。

由于履带节辊锻过程中高压气体的影响，辊锻模下模，常常在辊锻800~1000件后就会出现沟槽，导致不能使用。

为消除这种不良影响，可在辊锻模具上开设排气孔道，如图14所示。这种排气孔道可使辊锻成形时将高压气体导出。

采取这一措施后效果显著，消除了模腔表面由高压气体冲击形成的沟槽，消除了产品上的折叠缺陷，并且大幅提高了模具寿命。

2. 确保精冲件模具寿命的排气孔或排气槽

精冲时，材料剪切区在三向压应力状态下发生的塑性变形。在瞬间冲击载荷的作用下，剪切区内金属晶体转动，发生强烈的位错运动，产生大量的塑性变形热。因此，整个精冲过程是在高温、高压下进行的，严重影响精冲模具的使用寿命。为此，在精冲模具结构设计时，必须采取措施，消除或减少精冲模具刃口产生的热量，提高产品品质，延长精冲模具的使用寿命。

因精冲模具构件之间配合精密，使用的润滑油很稠，模具在运动过程中，模具零件之间、模具与精冲材料之间剧烈摩擦，产生大量摩擦热。摩擦热在封闭的空间内很难随润滑液或空气散发。因此，在大批量精冲生产时，必须使模具密闭空间的空气迅速排走。

压缩空气在冷却模具的同

时，可以将粘在顶料杆上的废料吹除，这是冷却装置的另一功能。因此，应在模具上设计排气孔和排气槽。

图15为精冲模具中，在上模板4的相应位置加工有 $\phi 5\text{mm} \sim \phi 8\text{mm}$ 的排气孔，在凹模的上底面开有宽4~8mm、深0.2~0.4mm的排气槽。

另外，在凸模侧面与底座均设计有排气孔，齿形压边圈下端面开有排气槽。为保证凸模强度，凸模上的排气孔不应太大，

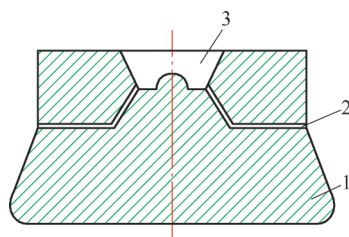


图14 辊锻模上的排气沟槽示意

1. 辊锻模块 2. 排气孔 3. 模腔

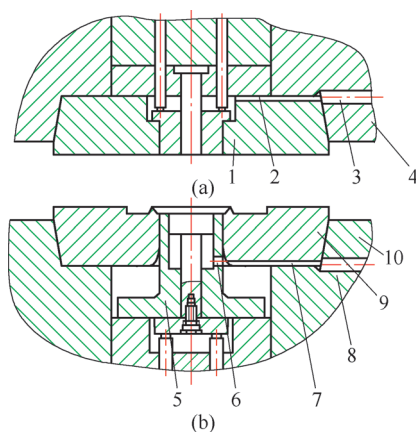


图15 精冲模具的排气

1. 凹模 2. 凹模气槽 3. 上模板出气孔
4. 上模板 5. 凸模 6. 凸模气孔
7. 齿形压边圈排气槽 8. 底座气孔
9. 齿形压边圈 10. 底座

一般为 $\phi 1.5 \sim \phi 3.0\text{mm}$ 即可。

当固定凸模式结构因凸模强度不允许在侧面打气孔时，可将推料杆磨去0.2mm，并在凸模底面推料孔的下部，车出一圈排气槽（以免推料杆转动而堵塞排气孔），然后在凸模底面加工一排气槽，保证空气泄出（见图16）。

此外，精冲时，为防止空气或润滑油对反向压板的移动产生障碍，在反向压板、垫板、固定板、凹模及模座的适当地方开有排气孔和排气槽（见图17）。

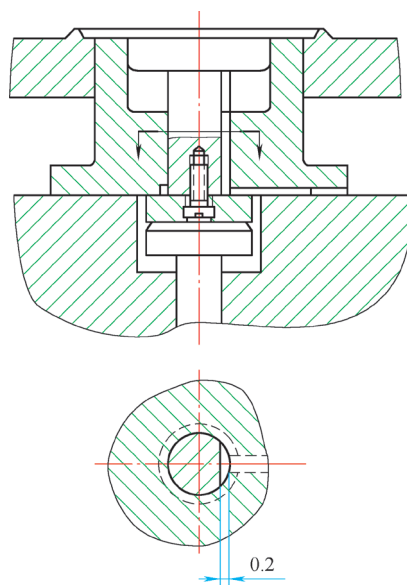


图16 凸模与推料杆排气槽位置

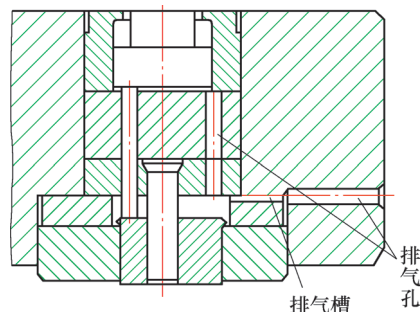


图17 反向压板、垫板、固定板、凹模及模座的排气孔和排气槽

作者简介：钱进浩，苏州银涛精密锻造有限公司；胡亚民，重庆理工大学。

MW 20170708