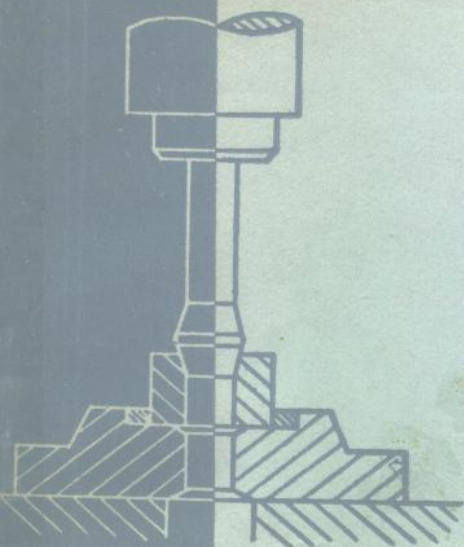




徐 康 友 編

孔的挤压加工

中国工业出版社

孔的挤压加工，是机械制造业中的一项具有很大的经济效果的新工艺。

本书介绍了挤孔的形式和方法；并对各种挤压器的构造作了详细的叙述。在书中还阐明了挤压加工对内孔表面质量的影响；列举了各种挤孔形式的典型工艺；并对挤压加工的工作规范作了推荐。

本书可作为机械制造厂技术员、工段长的读物，而对精密仪器和机床制造部门的工作人员更有参考价值。

22/60/38

孔的挤压加工

徐康友 编

*

机械工业图书编辑部编辑（北京苏州胡同 141 号）

中国工业出版社出版（北京德胜门内大街 10 号）

（北京市书刊出版事业许可出字第 110 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $2 \frac{15}{16}$ · 字数 63,000

1964 年 1 月北京第一版·1964 年 1 月北京第一次印刷

印数 0,001—4,835 · 定价(10-6)0.40 元

*

统一书号：15165 · 1675(一机-340)

目 次

一 挤压加工的特点	1
二 挤孔的形式	3
1. 鋼球挤压	3
2. 心軸挤压	6
3. 滾珠挤压	8
4. 滾柱挤压	9
5. 各种挤孔形式的比較	10
三 挤压器	12
1. 挤压器的种类和結構	13
2. 挤压器的外型对内孔表面光洁度的影响	26
3. 挤压器外型的几何形状对挤压压力的影响	31
四 挤压加工对内孔表面质量的影响	34
1. 挤压加工对内孔表面硬度的影响	35
2. 挤压加工对内孔表面精度的影响	38
3. 挤压加工对内孔表面光洁度的影响	42
五 挤压加工的工作规范	45
1. 挤压速度的推荐	45
2. 挤压压力和其大小的确定	48
3. 挤压时零件内孔表面的变形	54
4. 挤压余量及其正确的选择	62
5. 挤孔时的潤滑与潤滑液的选用	65
6. 挤压前毛坯的孔徑尺寸和原始表面光洁度的确定	66
7. 挤压器(鋼球或工作凸緣)直徑的确定	70
8. 挤压后零件在外形上的修整	71
六 挤压加工的典型工艺	73

1. 風鎚气筒的挤压73
2. 風动鉚合机气筒的挤压78
3. 汽車发动机活塞銷孔的挤压83
4. 齿輪中心孔的挤压84
5. 分油器体柱塞孔的挤压87

一 挤压加工的特点

零件表面的质量直接影响机械本身的使用寿命。当表面不光滑的零件发生相对滑动时，不但要增加克服摩擦阻力所需要的功，并且接触表面的表面层也会很快地磨损从而促使机械的使用时间缩短。当然，零件间的摩擦，不能为人们主观的愿望所消除，但是可以设法把它减小到最低程度，其主要的措施是提高机械零件表面的质量。

零件表面质量的好坏，很大程度是决定于表面的光洁度和硬度。高质量的表面不但具有很高的耐磨性，并且也有很好的操作性能。

欲得到高质量的表面，可以通过各种不同的机械加工方法。圆形孔的加工，可以借助于铰、拉削、磨、镗磨或研磨来进行。然而这些加工方法，在某种情况下会受到限制，譬如孔的铰和拉削，在一般的情况下，其表面光洁度只能达到6级或7级；因在工作过程中有切屑的存在，如要得到更高的光洁度，就比较困难了。磨和镗磨虽然能够得到较高的表面光洁度，但当加工细长的圆形孔时，由于磨头和镗头轴刚性的不足，孔的精度就得不到高的保证。

挤压加工不但可以促成内孔表面光洁度的提高，同时又能得到高的精度。一般挤压的孔，其表面光洁度可达到8级或9级，在适当的挤压条件下，甚至可达到10级；孔的精度可以达到2级或1级。

挤压加工是无切屑加工的一种形式，它与金属切削加工的性质不同：在挤压过程中，没有切屑的产生，故不致于像铰或拉等那样，因切屑的产生而妨碍内孔表面光洁度的提高。

孔的挤压加工比切削加工中任何一种形式都要优越。譬如孔的精磨或研磨，在加工过程中很容易把磨料（磨粒或磨粉）嵌压在零件的表面上，尤其是加工材料較軟的零件，使零件表面的光洁度和精度不能得以显著的提高。挤压加工則无此缺点。尤其当挤压青銅、黃銅、巴氏合金和鋁合金等有色金属或輕金属时，更显出了它的优越性。

当挤压器本身的圓度很准确时，挤压加工能够消除或修整零件孔徑上圓度或錐度的偏差，从而促成內孔表面精度的提高，这是挤压加工的又一优点。

更重要的是，孔的表面經過挤压以后，产生了一层冷軋层，它强化了內孔表面，从而显著地提高了零件的操作性能和耐磨性。

在一般的加工方法中，如欲得到高质量的內孔表面，于初加工后还要經過精磨或鏜磨；为了提高內孔表面的耐磨性，必須要以一定的处理形式（热处理、化学处理或机械处理）来强化它的表面。可見采用一般的方法来促成高质量的內孔表面，必須要通过很多的工序，化費很大的劳动量，同时还需要有專門的机床和工艺装备。这就增加了产品的制造成本。然而，采用挤压加工同样能促成有較高质量的內孔表面，但却不需要有特殊的設備，一般就在普通的压床上或拉床上借助于一个結構简单的挤压器即能进行加工。挤压加工与其他加工方法相比，不但可少用机床，减少国家投資，同时还可以大大地縮短零件加工的过程，节约加工劳动量，降低成本。

目前，挤压加工在各工业部門的应用越来越广泛了。大多是用来加工十分精密的內孔，尤其是細长的圓形內孔，例如液动机床上的液压缸、風鎚或風鏟的气筒、发动机活塞的

銷孔、齒輪內孔和壓油泵體的柱塞孔等。在儀表製造部門亦都用它來加工細小零件的內孔。

二 擠孔的形式

圓形內孔的擠壓，可分鋼球擠壓、心軸擠壓、滾珠擠壓和滾柱擠壓四種形式。

擠孔形式的選擇，主要是根據孔的大小和內孔表面對質量的要求而決定。

滾柱和滾珠擠壓，常用於較大直徑的內孔；鋼球擠壓和心軸擠壓，常用於較小直徑的內孔。

鋼球擠壓和滾珠擠壓，能夠促成較高光潔度的內孔表面；心軸擠壓和滾柱擠壓，由於在擠壓後能夠產生較深的冷軋層，故內孔能夠得到較高的表面硬度。

1 鋼球擠壓

鋼球擠壓是用一個或幾個比毛坯孔徑略大的鋼球，強迫其通過毛坯的內孔，孔的表面在鋼球擠壓的壓力下，則發生一定的變形，結果使毛坯孔徑的尺寸得以適當的改變，從而獲得被加工零件所需要的孔徑尺寸。

擠壓時，鋼球與內孔表面的接觸僅是一綫，因此容易熨平不平表面的峰波，從而促成內孔表面光潔度的提高，同時由於鋼球與內孔表面的接觸面積小，所以在擠壓時的擠壓壓力亦較小。這是鋼球擠壓的最大優點。

鋼球擠壓常按擠壓時所用鋼球的個數不同而分單球擠壓和多球擠壓二種。擠壓時僅用一個鋼球稱為單球擠壓；接連用兩個或兩個以上的鋼球就稱為多球擠壓。

1) 单球挤压 单球挤压(图1)往往在液压床或手压床上进行。为便于控制挤压速度,采用液压床却有它的方便条件。挤压时,毛坯安置在有自动定心的夹具上,这样可省掉找正毛坯孔的中心线与压杆中心线重合的时间。

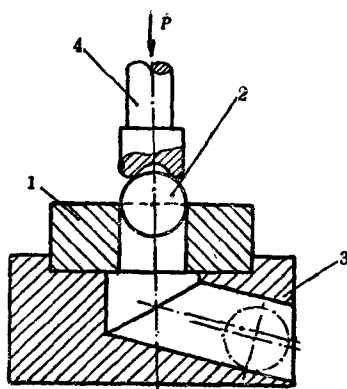


图1 圆形内孔的单球挤压:

- 1—零件的毛坯; 2—钢球;
3—夹具; 4—压杆。

挤压前先把钢球放置在比它略小的毛坯孔口,然后使压杆下移,顶住钢球。倘若是在有自动给进的液压床上,这时压杆必须要按规范所选定的挤压速度将钢球逐渐下压。在挤压过程中,为了减少钢球与内孔表面间的摩擦,同时为了提高内孔表面的光洁度,最好采取有效的润滑。

为了避免挤压器过快的磨损,采用的钢球要求有较高的硬度。

单球挤压适用于不深的孔(孔深与孔径的比值小于8),或者零件的材料较软的有色金属,如青铜、巴氏合金等。尤其当零件的孔壁相当厚的时候更利于挤压。

单球挤压最大的优点是能选用标准的钢球,这样的钢球不但便于外购,而且价格低廉。然而单球挤压所占用的手动时间多,效率低,这是它的不足之处。

2) 多球挤压 多球挤压(图2)大多数是在液动的拉床上进行。挤压时的拉引速度可以直接调节液压缸内的油量来控制。

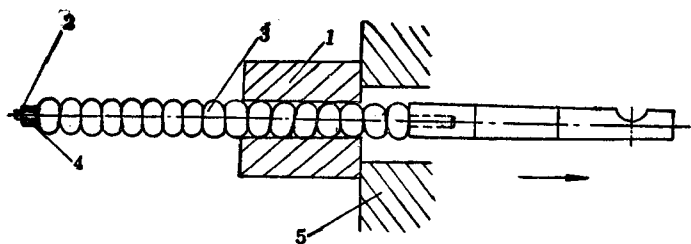


图2 圓形內孔的多球挤压:

1—零件; 2—挤压器心軸; 3—鋼球; 4—鎖紧螺母; 5—夹具。

挤压前先把零件紧固在夹具上，夹具的位置必須保證零件的中心軸綫与拉床牵引杆的中心綫一致。挤压时应先把挤压器从柄部套入毛坯的孔中，然后使挤压器的柄部套入拉床牵引杆端头的孔中，并以銷子使其联結。此时开动机床，牵引杆則带动挤压器在毛坯的孔中作匀速滑动，从而达到挤压的目的。在挤压过程中为了提高內孔表面的光洁度亦必須注意有效的潤滑。

多球挤压用之鋼球同样要有很高的硬度，并且要求每个鋼球的直径都互为不同，往往都是一个躡接一个略为增大，这样，其目的在于防止內孔不平表面的一次完全压缩，可以减少挤压的牵引力，并且內孔表面經過几个鋼球的逐次挤压，从而能够提高內孔表面的光洁度。

挤压器的鋼球都是松套在心軸上，即心軸的直径稍許小于鋼球的孔径，这样足以保證每个鋼球都能相对被挤压的孔而自动定心。

多球挤压的效率比单球挤压高，內孔表面挤压一次就能得到很高的质量。另外，多球挤压用之鋼球，磨損了能够方便地調換。

2 心轴挤压

圆形内孔的心轴挤压，大多数也是在液压的拉床或压床上借助于带鼓桶形凸缘的心轴挤压器进行。圆形内孔的心轴挤压能促使发生较大的塑性变形，因此在内孔表面容易建立起较深的冷轧层，从而使孔表面的硬度和耐磨性得以提高。然而心轴挤压的挤压压力却要比钢球挤压大得多，因此在挤压时机床所耗的功率亦得相应地变大。

心轴挤压由于挤压器的几何形状不同，可以分为单柱挤压和多柱挤压两种。单柱挤压的挤压器具有一个鼓桶形的凸缘；多柱挤压的挤压器具有二个或二个以上鼓桶形的凸缘。

1) 单柱挤压 圆形内孔的单柱挤压（图3）往往是利用一个单个凸缘的挤压器，使其强迫通过比它略小的毛坯内孔，结果由于内孔表面产生的塑性变形，而使毛坯的孔径尺寸得以改变。

单柱挤压一般是在压床上或拉床上进行。挤压时工件装夹在夹具上，夹具在机床工作台上的位置，要求工件内孔的中心与压杆的轴线自行对准。当挤压大小不同的零件时，可以在夹具体上更换相应的套环来实施。挤压器有用螺纹与压杆联结的，亦有用插销与压杆联结的。在挤压前先移下压杆和挤压器，使挤压器的工作凸缘部分顶住毛坯的内孔，然后根

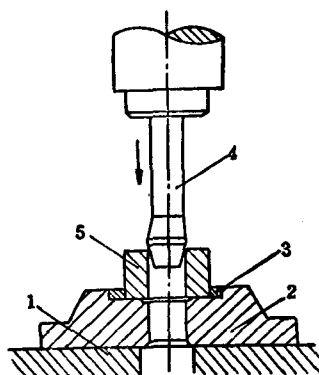


图3 圆形内孔的单柱挤压：

- 1—机床工作台；2—夹具；
3—套环；4—挤压器；5—
工件。

据所选定的挤压速度进行下压。为了提高内孔表面的质量和减小挤压压力，在挤压过程中应该采用适当的润滑，其目的在于减小挤压器与零件内孔表面间的摩擦。

由于单柱挤压所发生的塑性变形大，因此在挤压后，零件的端面和外表面有一定程度的变异，倘若挤压零件的外表面和端面的精度要求较高，那末，在挤压后必须要对它们进行修整，修整的方法可用细车或精磨来进行之，修整的目的也就是为消除其外形或端面由挤压而引起的变异。

单柱挤压对毛坯表面的质量要有一定的规定，要求毛坯内孔的原始表面光洁度不能太低，一般只比零件要求的光洁度低2~3级，并且按毛坯材料的性质和形状、挤压时所选定的规范要考虑适当的毛坯尺寸。

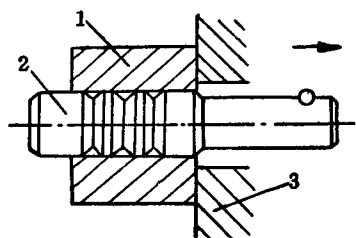


图4 圆形内孔的多柱挤压：

1—挤压零件；2—挤压器；3—夹具。

2) 多柱挤压 圆形内

孔的多柱挤压（图4）与单柱挤压所不同的是所用的挤压器之心轴有多个鼓桶形的圆柱凸缘。有些挤压器的圆柱凸缘与心轴成整体的，有些是组合的。

挤压器圆柱凸缘的数量和几何形状，按内孔表面所要求的质量而不同。并且每个凸缘的直径互有大小，一般都是依次逐个地略为增大。这样，在挤压时可防止内孔表面由于一次完全压缩而引起过大变形，从而能够促使内孔表面得到较高的质量。

圆形内孔的多柱挤压同样可在拉床上或压床上进行。挤压时常把零件固紧在夹具上，在挤压前先把挤压器套进毛坯

的孔中，然后以一定的挤压速度牵引挤压器，使其在毛坯的孔中逐渐移动。由于挤压器的圆柱凸缘都略大于毛坯的孔径，所以当挤压器在移动过程中，促使内孔表面产生一定程度的塑性变形，从而可得到零件的孔径尺寸，并改善了内孔表面的原始光洁度。

多柱挤压适用于深孔，一般当孔深与孔径的比值大于 8 时，更为有效。

3 滚珠挤压

滚珠挤压是利用多个钢球所组成的专门挤压器对毛坯的内孔进行扩压。

滚珠挤压可在车床、六角车床、镗床或钻床上进行。在车床上挤压（图 5），常把工件装夹在车床的卡盘上，挤压时随车床的主轴而旋转。挤压器常安置在车床的刀架台上或六角拖板的刀座孔中。为了保证挤压器相对毛坯

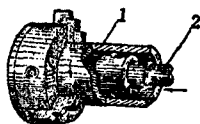


图 5 车床上的滚珠挤压：

1—工件；2—挤压器。

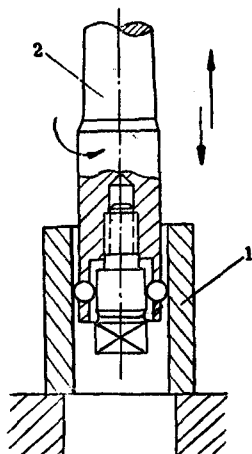


图 6 钻床上的滚珠挤压：

1—工件；2—挤压器。

的内孔而自动地定心，挤压器必须通过浮动夹具而固紧在刀架台或刀座孔中。在挤压时，挤压器随刀架自动送进，致使挤压器在毛坯的孔中作匀速移动。但由于分布在挤压器中钢

球的最大徑向距离略大于毛坯內孔的孔徑，当挤压器进刀时挤压器上的鋼球就促使內孔表面发生塑性变形，从而促成毛坯孔徑的改变和表面光洁度的改善。

在钻床上进行的滾珠挤压（图6），往往把工件借助于夹具固紧在机床的工作台上。挤压器則通过浮动夹头装置在机床的主軸孔中，在挤压时，挤压器不但随机床的主軸迴轉，而且亦随主軸作向下的走刀运动。为适应毛坯孔徑的大小，有的挤压器可以对鋼球間的徑向距离进行調节，一般都調节到比毛坯的孔徑略大，其量值应按挤压零件的材料性质、几何形状和挤压的规范而定。調节的目的不外乎是让內孔表面在挤压过程中发生良好的塑性变形。为了提高內孔表面的光洁度，在挤压时亦必須采用适当的潤滑。

滾珠挤压能很有成效地改善內孔表面的光洁度，一般挤压后的表面光洁度为9~10級，并且能使金屬表面层强化，使內孔表面具有較大的硬度和耐磨性。

滾珠挤压能够挤压較大直徑的內孔，而且适用于挤压深孔零件。目前有用它来代替汽缸体或液压筒的鏜磨。此外，滾珠挤压所用的挤压器結構簡單，制造成本低，又便于选用外购的标准鋼球。

4 滾柱挤压

圓形內孔的滾柱挤压，往往是利用由单个或多个淬过火的滾柱所組成的挤压器，对毛坯內孔进行扩压，使毛坯孔徑的尺寸得以改变。

圓形內孔的滾柱挤压，同样可在車床上或钻床上进行。在車床上的滾柱挤压（图7），常把工件装夹在車床的卡盘上，随同車床的主軸而迴轉。挤压器則借浮动夹头或直接固

紧在車床的刀架台上，挤压时挤压器随同刀架以一定的給进量沿毛坯的内孔表面送进。由于挤压器或滚柱的直径稍大于毛坯的孔径，当挤压器送进时滚柱就促使内孔表面发生塑性变形，从而改变毛坯的孔径尺寸和表面光洁度。

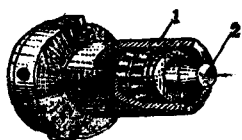


图7 車床上的滚柱挤压:

1—工件; 2—挤压器。

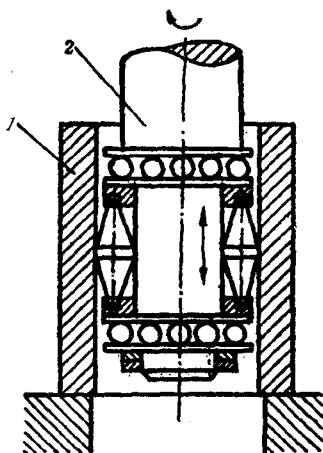


图8 钻床上的滚柱挤压:

1—工件; 2—挤压器。

在钻床上的滚柱挤压 (图8), 往往把工件借助于夹具紧在机床的工作台上, 挤压器则借助于浮动夹头装置在机床主轴的孔中。在挤压时, 挤压器不但随同主轴而迴轉, 且沿毛坯的内孔作向下的走刀运动。

滚柱挤压的挤压器, 有一个滚柱組成的, 亦有几个滚柱組成的。但当挤压較大直径的内孔时, 往往都是采用多滚柱的。滚柱外型的几何形状, 按内孔表面所要求的质量而异。

为了提高内孔表面的光洁度和减小滚柱与内孔表面間的摩擦, 在挤压过程中最好采用适当的潤滑液。

5 各种挤孔形式的比較

鋼球、心軸、滾珠和滾柱挤压各有其优缺点。

1) 鋼球挤压

- (1) 挤压后所得的表面光洁度高;
- (2) 挤压时内孔表面所发生的塑性变形小;
- (3) 挤压时对不平表面的径向熨平作用大;
- (4) 挤压时所需的挤压压力小;
- (5) 挤压后在零件的外表面或端面上所发生的弯曲变形小;

- (6) 挤压器结构简单, 制造容易;
- (7) 鋼球磨损后仍能作其他用;
- (8) 便于采用标准的鋼球;
- (9) 单球挤压所需的挤压次数多, 效率低;
- (10) 鋼球容易磨损, 挤压器使用时间短。

2) 心軸挤压

- (1) 挤压时内孔表面所发生的塑性变形较大;
- (2) 挤压后内孔表面的冷轧层深度較深, 硬度高;
- (3) 挤压时所需的挤压压力大;
- (4) 多柱挤压效率高, 挤压一次就能得到很高的表面硬度和光洁度;
- (5) 挤压后在零件的外表面或端面上所发生的变形大;

- (6) 挤压器结构复杂, 制造困难;
- (7) 挤压器容易磨损, 磨损后又不能作为他用。

3) 滾珠挤压

- (1) 所获得的表面光洁度較高;
- (2) 可挤压較大孔徑的零件;
- (3) 适宜于挤压深孔零件;
- (4) 挤压时内孔表面所发生的塑性变形小;
- (5) 挤压时的挤压压力小;

- (6) 挤压器构造简单，制造容易；
- (7) 挤压器鋼球磨損后可以更換；
- (8) 挤压器的鋼球可选用标准鋼球；
- (9) 挤压前毛坯的孔徑尺寸要求較严；
- (10) 挤压器的工作尺寸要有精确的規定。

4) 滾柱挤压

- (1) 挤压后內孔表面有較好的耐磨性；
- (2) 能挤压較大孔徑的零件；
- (3) 挤压时內孔表面所发生的塑性变形較大；
- (4) 能使內孔表面促成較深的冷軋层；
- (5) 挤压时的挤压压力較大；
- (6) 挤压器制造困难，成本高；
- (7) 挤压前对毛坯的孔徑尺寸要求較严；
- (8) 挤压器的工作尺寸要求精确程度高，不易掌握。

总之，上述四种挤孔形式各有其优缺点，一般对孔徑小、深度淺、內孔表面光洁度要求高的零件，以应用鋼球挤压为最有利；如挤压的零件孔徑大，內孔表面的光洁度又要求高，那末以应用滾珠挤压为最有利；而对孔徑小、深度深，內孔表面耐磨性要求高的零件，以应用心軸挤压为最合适；如挤压零件的孔徑大，內孔表面又要求有較高的耐磨性，那末以应用滾柱挤压为最合适。

三 挤 压 器

挤压器的外型和結構，常按挤压內孔所要求的质量和挤孔形式的不同而决定。而挤压器工作部分的几何形状更影响內孔表面的质量和挤压压力的大小。

1 挤压器的种类和结构

按挤孔形式的不同，挤压器可分为钢球挤压器、心轴挤压器、滚珠挤压器和滚柱挤压器四大类。

1) **钢球挤压器** 钢球挤压器可分单球挤压器和多球挤压器两种。单球挤压器即利用标准的钢球，其大小按零件的孔径而定。但钢球半径增大，挤压表面的光洁度亦增高；钢球半径减小，挤压表面的硬度则升高。

钢球的材料最好是由铬钢(GCr15)或铬钼钢(Cr12MoV)制成。为了使钢球保有较高的耐磨性，要求它在淬火后硬度应达到 $H_{RC}62\sim65$ 。钢球经过热处理后还必须经过滚磨和研磨，使其表面光洁度达11~12级。有时还在钢球的外表面镀上一层铬，镀层约为0.003~0.005毫米，目的是增加钢球的耐磨性。

多球挤压器是由许多不同直径的钢球串套在同一心棒上而成的(图9)。钢球的直径同样决定于挤压零件毛坯的孔径，而球的个数则取决于内孔表面对质量的要求：内孔表面的质量要求高的，可多用几个钢球；反之，钢球的数目可以少些。深孔挤压钢球的个数可在15~25个之间，一般孔的挤压，钢球的个数可用5~10个。

每个钢球的直径略有不同，开头的几个钢球的直径往往小于孔的名义直径，最后几个钢球的直径却又略大于孔的名义直径。后一个钢球往往比前一个钢球的直径大0.01或0.02毫米，然而在最后的几个钢球中，它们的直径却又不是每隔一个都增加的，而是每隔二个或三个增加一次。这样在挤压过程中，可减小金属塑性波的振幅，从而可大大改善内孔表面的光洁度。