

# 硬度知识

## 一、硬度简介：

硬度表示材料抵抗硬物体压入其表面的能力。它是金属材料的重要性能指标之一。一般硬度越高，耐磨性越好。常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

### 1.布氏硬度(HB)

以一定的载荷(一般 3000kg)把一定大小(直径一般为 10mm)的淬硬钢球压入材料表面，保持一段时间，去载后，负荷与其压痕面积之比值，即为布氏硬度值(HB)，单位为公斤力/mm<sup>2</sup> (N/mm<sup>2</sup>)。

### 2.洛氏硬度(HR)

当 HB>450 或者试样过小时，不能采用布氏硬度试验而改用洛氏硬度计量。它是用一个顶角 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.59、3.18mm 的钢球，在一定载荷下压入被测材料表面，由压痕的深度求出材料的硬度。根据试验材料硬度的不同，分三种不同的标度来表示：

- HRA：是采用 60kg 载荷和钻石锥压入器求得的硬度，用于硬度极高的材料(如硬质合金等)。
- HRB：是采用 100kg 载荷和直径 1.58mm 淬硬的钢球，求得的硬度，用于硬度较低的材料(如退火钢、铸铁等)。
- HRC：是采用 150kg 载荷和钻石锥压入器求得的硬度，用于硬度很高的材料(如淬火钢等)。

### 3 维氏硬度(HV)

以 120kg 以内的载荷和顶角为 136° 的金刚石方形锥压入器压入材料表面，用材料压痕凹坑的表面积除以载荷值，即为维氏硬度 HV 值(kgf/mm<sup>2</sup>)。

#####

注：

洛氏硬度中 HRA、HRB、HRC 等中的 A、B、C 为三种不同的标准，称为标尺 A、标尺 B、标尺 C。

洛氏硬度试验是现今所使用的几种普通压痕硬度试验之一，三种标尺的初始压力均为 98.07N(合 10kgf)，最后根据压痕深度计算硬度值。标尺 A 使用的是球锥菱形压头，然后加压至 588.4N(合 60kgf)；标尺 B 使用的是直径为 1.588mm(1/16 英寸)的钢球作为压头，然后加压至 980.7N(合 100kgf)；而标尺 C 使用与标尺 A 相同的球锥菱形作为压头，但加压后的力是 1471N(合 150kgf)。因此标尺 B 适用相对较软的材料，而标尺 C 适用较硬的材料。

实践证明，金属材料的各种硬度值之间，硬度值与强度值之间具有近似的相应关系。因为硬度值是由起始塑性变形抗力和继续塑性变形抗力决定的，材料的强度越高，塑性变形抗力越高，硬度值也就越高。但各种材料的换算关系并不一致。本站《硬度对照表》一文对钢的不同硬度值的换算给出了表格，请查阅。

#####

## 二、硬度对照表：

根据德国标准 DIN50150,以下是常用范围的钢材抗拉强度与维氏硬度、布氏硬度、洛氏硬度的对照表。

| 抗拉强度<br>Rm<br>N/mm <sup>2</sup> | 维氏硬度<br>HV | 布氏硬度<br>HB | 洛氏硬度<br>HRC |
|---------------------------------|------------|------------|-------------|
| 250                             | 80         | 76.0       | -           |
| 270                             | 85         | 80.7       | -           |
| 285                             | 90         | 85.2       | -           |
| 305                             | 95         | 90.2       | -           |
| 320                             | 100        | 95.0       | -           |
| 335                             | 105        | 99.8       | -           |
| 350                             | 110        | 105        | -           |
| 370                             | 115        | 109        | -           |
| 380                             | 120        | 114        | -           |
| 400                             | 125        | 119        | -           |
| 415                             | 130        | 124        | -           |
| 430                             | 135        | 128        | -           |
| 450                             | 140        | 133        | -           |
| 465                             | 145        | 138        | -           |
| 480                             | 150        | 143        | -           |
| 490                             | 155        | 147        | -           |
| 510                             | 160        | 152        | -           |
| 530                             | 165        | 156        | -           |
| 545                             | 170        | 162        | -           |
| 560                             | 175        | 166        | -           |
| 575                             | 180        | 171        | -           |
| 595                             | 185        | 176        | -           |
| 610                             | 190        | 181        | -           |
| 625                             | 195        | 185        | -           |
| 640                             | 200        | 190        | -           |
| 660                             | 205        | 195        | -           |
| 675                             | 210        | 199        | -           |
| 690                             | 215        | 204        | -           |
| 705                             | 220        | 209        | -           |
| 720                             | 225        | 214        | -           |
| 740                             | 230        | 219        | -           |
| 755                             | 235        | 223        | -           |
| 770                             | 240        | 228        | 20.3        |
| 785                             | 245        | 233        | 21.3        |
| 800                             | 250        | 238        | 22.2        |
| 820                             | 255        | 242        | 23.1        |
| 835                             | 260        | 247        | 24.0        |
| 850                             | 265        | 252        | 24.8        |
| 865                             | 270        | 257        | 25.6        |
| 880                             | 275        | 261        | 26.4        |
| 900                             | 280        | 266        | 27.1        |
| 915                             | 285        | 271        | 27.8        |
| 930                             | 290        | 276        | 28.5        |

|      |     |       |      |
|------|-----|-------|------|
| 950  | 295 | 280   | 29.2 |
| 965  | 300 | 285   | 29.8 |
| 995  | 310 | 295   | 31.0 |
| 1030 | 320 | 304   | 32.2 |
| 1060 | 330 | 314   | 33.3 |
| 1095 | 340 | 323   | 34.4 |
| 1125 | 350 | 333   | 35.5 |
| 1115 | 360 | 342   | 36.6 |
| 1190 | 370 | 352   | 37.7 |
| 1220 | 380 | 361   | 38.8 |
| 1255 | 390 | 371   | 39.8 |
| 1290 | 400 | 380   | 40.8 |
| 1320 | 410 | 390   | 41.8 |
| 1350 | 420 | 399   | 42.7 |
| 1385 | 430 | 409   | 43.6 |
| 1420 | 440 | 418   | 44.5 |
| 1455 | 450 | 428   | 45.3 |
| 1485 | 460 | 437   | 46.1 |
| 1520 | 470 | 447   | 46.9 |
| 1555 | 480 | (456) | 47.7 |
| 1595 | 490 | (466) | 48.4 |
| 1630 | 500 | (475) | 49.1 |
| 1665 | 510 | (485) | 49.8 |
| 1700 | 520 | (494) | 50.5 |
| 1740 | 530 | (504) | 51.1 |
| 1775 | 540 | (513) | 51.7 |
| 1810 | 550 | (523) | 52.3 |
| 1845 | 560 | (532) | 53.0 |
| 1880 | 570 | (542) | 53.6 |
| 1920 | 580 | (551) | 54.1 |
| 1955 | 590 | (561) | 54.7 |
| 1995 | 600 | (570) | 55.2 |
| 2030 | 610 | (580) | 55.7 |
| 2070 | 620 | (589) | 56.3 |
| 2105 | 630 | (599) | 56.8 |
| 2145 | 640 | (608) | 57.3 |
| 2180 | 650 | (618) | 57.8 |
|      | 660 |       | 58.3 |
|      | 670 |       | 58.8 |
|      | 680 |       | 59.2 |
|      | 690 |       | 59.7 |
|      | 700 |       | 60.1 |
|      | 720 |       | 61.0 |
|      | 740 |       | 61.8 |
|      | 760 |       | 62.5 |
|      | 780 |       | 63.3 |
|      | 800 |       | 64.0 |
|      | 820 |       | 64.7 |
|      | 840 |       | 65.3 |
|      | 860 |       | 65.9 |
|      | 880 |       | 66.4 |



|  |     |  |      |
|--|-----|--|------|
|  | 900 |  | 67.0 |
|  | 920 |  | 67.5 |
|  | 940 |  | 68.0 |

硬度试验是机械性能试验中最简单易行的一种试验方法。为了能用硬度试验代替某些机械性能试验，生产上需要一个比较准确的硬度和强度的换算关系。

实践证明，金属材料的各种硬度值之间，硬度值与强度值之间具有近似的相应关系。因为硬度值是由起始塑性变形抗力和继续塑性变形抗力决定的，材料的强度越高，塑性变形抗力越高，硬度值也就越高。

下面是本站根据由实验得到的经验公式制作的快速计算器，有一定的实用价值，但在要求数据比较精确时，仍需要通过试验测得。

### 三、硬度换算公式

- 1.肖氏硬度(HS)=勃式硬度(BHN)/10+12
- 2.肖氏硬度(HS)=洛式硬度(HRC)+15
- 3.勃式硬度(BHN)= 洛克式硬度(HV)
- 4.洛式硬度(HRC)= 勃式硬度(BHN)/10-3

硬度測定範圍:

HS<100

HB<500

HRC<70

HV<1300

洛氏硬度    布氏硬度 HB10/3000    维氏硬度    HV  
HRC HRA

59.580.7676

59.080.5666

58.580.2655

58.080.0645

57.579.7635

57.079.5625

56.579.2615

56.078.9605

55.578.6596

55.078.4538587

54.578.1532578

54.077.9526569

53.576.6520560

53.076.3515551

52.576.1509543

52.076.9503535

51.576.6497527

51.076.3492520  
50.576.1486512  
50.075.8480504

| 硬度换算表 |      |     |  |     |      |     |  |     |      |     |  |
|-------|------|-----|--|-----|------|-----|--|-----|------|-----|--|
| HV    | HRC  | HBS |  | HV  | HRC  | HBS |  | HV  | HRC  | HBS |  |
| 940   | 68   |     |  | 560 | 53   |     |  | 300 | 29.8 | 284 |  |
| 920   | 67.5 |     |  | 550 | 52.3 | 505 |  | 295 | 29.2 | 280 |  |
| 900   | 67   |     |  | 540 | 51.7 | 496 |  | 290 | 28.5 | 275 |  |
| 880   | 66.4 |     |  | 530 | 51.1 | 488 |  | 285 | 27.8 | 270 |  |
| 860   | 65.9 |     |  | 520 | 50.5 | 480 |  | 280 | 27.1 | 265 |  |
| 840   | 65.3 |     |  | 510 | 49.8 | 473 |  | 275 | 26.4 | 261 |  |
| 820   | 64.7 |     |  | 500 | 49.1 | 465 |  | 270 | 25.6 | 256 |  |
| 800   | 64   |     |  | 490 | 48.4 | 456 |  | 265 | 24.8 | 252 |  |
| 780   | 63.3 |     |  | 480 | 47.7 | 448 |  | 260 | 24   | 247 |  |
| 760   | 62.5 |     |  | 470 | 46.9 | 441 |  | 255 | 23.1 | 243 |  |
| 740   | 61.8 |     |  | 460 | 46.1 | 433 |  | 250 | 22.2 | 238 |  |
| 720   | 61   |     |  | 450 | 45.3 | 425 |  | 245 | 21.3 | 233 |  |
| 700   | 60.1 |     |  | 440 | 44.5 | 415 |  | 240 | 20.3 | 228 |  |
| 690   | 59.7 |     |  | 430 | 43.6 | 405 |  | 230 | 18   |     |  |
| 680   | 59.2 |     |  | 420 | 42.7 | 397 |  | 220 | 15.7 |     |  |
| 670   | 58.8 |     |  | 410 | 41.8 | 388 |  | 210 | 13.4 |     |  |
| 660   | 58.3 |     |  | 400 | 40.8 | 379 |  | 200 | 11   |     |  |
| 650   | 57.8 |     |  | 390 | 39.8 | 369 |  | 190 | 8.5  |     |  |
| 640   | 57.3 |     |  | 380 | 38.8 | 360 |  | 180 | 6    |     |  |
| 630   | 56.8 |     |  | 370 | 37.7 | 350 |  | 170 | 3    |     |  |
| 620   | 56.3 |     |  | 360 | 36.6 | 341 |  | 160 | 0    |     |  |
| 610   | 55.7 |     |  | 350 | 35.5 | 331 |  |     |      |     |  |
| 600   | 55.2 |     |  | 340 | 34.4 | 322 |  |     |      |     |  |
| 590   | 54.7 |     |  | 330 | 33.3 | 313 |  |     |      |     |  |
| 580   | 54.1 |     |  | 320 | 32.2 | 303 |  |     |      |     |  |
| 570   | 53.6 |     |  | 310 | 31   | 294 |  |     |      |     |  |

附录 G 钢的硬度值换算（续）

表 1 钢的维氏硬度（HV）与其他硬度和强度的近似换算值<sup>a</sup>（续）

| 维氏硬度 | 布氏硬度                    |          | 洛氏硬度 <sup>b</sup>           |                             |                             |                             | 表面洛氏硬度<br>表面金刚石圆锥压头 |                     |                     | 肖氏硬度 | 抗拉强度<br>(近似值)<br>Mpa<br>(1000psi) | 维氏硬度 |
|------|-------------------------|----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|-----------------------------------|------|
|      | 10—mm 钢球                |          |                             |                             |                             |                             |                     |                     |                     |      |                                   |      |
|      | 3000—kg 负荷 <sup>b</sup> |          |                             |                             |                             |                             |                     |                     |                     |      |                                   |      |
|      | 标准钢球                    | 钨—硬质合金钢球 | A. 标尺<br>60—kg 负荷<br>金刚圆锥压头 | ● 标尺<br>100—kg 负荷<br>金刚圆锥压头 | ● 标尺<br>100—kg 负荷<br>金刚圆锥压头 | ● 标尺<br>100—kg 负荷<br>金刚圆锥压头 | 15—N 标尺<br>15—kg 负荷 | 30—N 标尺<br>30—kg 负荷 | 45—N 标尺<br>45—kg 负荷 |      |                                   |      |
| HV   | HBS                     | HBW      | HRA                         | HRB                         | HRC                         | HRD                         | HR15N               | HR30N               | HR45N               | HS   | σ <sub>b</sub>                    | HV   |
| 1    | 2                       | 3        | 4                           | 5                           | 6                           | 7                           | 8                   | 9                   | 10                  | 11   | 12                                | 13   |
| 370  | 350                     | 350      | 69.2                        | —                           | 37.7                        | 53.6                        | 79.2                | 57.4                | 40.4                | —    | 1170(170)                         | 370  |
| 360  | 341                     | 341      | 68.7                        | (109.0)                     | 36.6                        | 52.8                        | 78.6                | 56.4                | 39.1                | 50   | 1130(164)                         | 360  |
| 350  | 331                     | 331      | 68.1                        | —                           | 35.5                        | 51.9                        | 78.0                | 55.4                | 37.8                | —    | 1095(159)                         | 350  |
| 340  | 322                     | 322      | 67.6                        | (108.0)                     | 34.4                        | 51.1                        | 77.4                | 54.4                | 36.5                | 47   | 1070(155)                         | 340  |
| 330  | 313                     | 313      | 67.0                        | —                           | 33.3                        | 50.2                        | 76.8                | 53.6                | 35.2                | —    | 1035(150)                         | 330  |
| 320  | 303                     | 303      | 66.4                        | (107.0)                     | 32.3                        | 49.4                        | 76.2                | 52.3                | 33.9                | 45   | 1005(146)                         | 320  |
| 310  | 294                     | 294      | 65.8                        | —                           | 31.0                        | 48.4                        | 75.6                | 51.3                | 32.5                | —    | 980(142)                          | 310  |
| 300  | 284                     | 284      | 65.2                        | (105.5)                     | 29.8                        | 47.5                        | 74.9                | 50.2                | 31.1                | 42   | 950(138)                          | 300  |
| 295  | 280                     | 280      | 65.8                        | —                           | 29.2                        | 47.1                        | 74.6                | 49.7                | 30.4                | —    | 935(136)                          | 295  |
| 290  | 275                     | 275      | 64.5                        | (104.5)                     | 28.5                        | 46.5                        | 74.2                | 49.0                | 29.5                | 41   | 915(133)                          | 290  |
| 285  | 270                     | 270      | 64.2                        | —                           | 27.8                        | 46.0                        | 73.8                | 48.4                | 28.7                | —    | 905(131)                          | 285  |
| 280  | 265                     | 265      | 63.8                        | (103.5)                     | 27.1                        | 45.3                        | 73.4                | 47.8                | 27.9                | 40   | 890(129)                          | 280  |



|     |     |     |      |         |        |      |      |      |      |    |          |     |
|-----|-----|-----|------|---------|--------|------|------|------|------|----|----------|-----|
| 275 | 261 | 261 | 63.5 | —       | 26.4   | 44.9 | 73.0 | 47.2 | 27.1 | —  | 875(127) | 275 |
| 270 | 256 | 256 | 63.1 | (102.0) | 25.6   | 44.3 | 72.6 | 46.4 | 26.2 | 38 | 855(124) | 270 |
| 265 | 252 | 252 | 62.7 | —       | 24.8   | 43.7 | 72.1 | 45.7 | 25.2 | —  | 840(122) | 265 |
| 260 | 247 | 247 | 62.4 | (101.0) | 24.0   | 43.1 | 71.6 | 45.0 | 24.3 | 37 | 825(120) | 260 |
| 255 | 243 | 243 | 62.0 | —       | 23.1   | 42.2 | 71.1 | 44.2 | 23.2 | —  | 805(117) | 255 |
| 250 | 238 | 238 | 61.6 | 99.5    | 22.2   | 41.7 | 70.6 | 43.4 | 22.2 | 36 | 795(115) | 250 |
| 245 | 233 | 233 | 61.2 | —       | 21.3   | 41.1 | 70.1 | 42.5 | 21.1 | —  | 780(113) | 245 |
| 240 | 228 | 228 | 60.7 | 98.1    | 20.3   | 40.3 | 69.6 | 41.7 | 19.9 | 34 | 765(111) | 240 |
| 230 | 219 | 219 | —    | 96.7    | (18.0) | —    | —    | —    | —    | 33 | 730(106) | 230 |
| 220 | 209 | 209 | —    | 95.0    | (15.7) | —    | —    | —    | —    | 32 | 695(101) | 220 |
| 210 | 200 | 200 | —    | 93.4    | (13.4) | —    | —    | —    | —    | 30 | 670(97)  | 210 |
| 200 | 190 | 190 | —    | 91.5    | (11.0) | —    | —    | —    | —    | 29 | 635(92)  | 200 |
| 190 | 181 | 181 | —    | 89.5    | (8.5)  | —    | —    | —    | —    | 28 | 605(88)  | 190 |
| 180 | 171 | 171 | —    | 87.1    | (6.0)  | —    | —    | —    | —    | 26 | 580(84)  | 180 |
| 170 | 162 | 162 | —    | 85.0    | (3.0)  | —    | —    | —    | —    | 25 | 545(79)  | 170 |
| 160 | 152 | 152 | —    | 81.7    | (0.0)  | —    | —    | —    | —    | 24 | 515(75)  | 160 |
| 150 | 143 | 143 | —    | 78.7    | —      | —    | —    | —    | —    | 22 | 490(71)  | 150 |
| 140 | 133 | 133 | —    | 75.0    | —      | —    | —    | —    | —    | 21 | 455(66)  | 140 |
| 130 | 124 | 124 | —    | 71.2    | —      | —    | —    | —    | —    | 20 | 425(62)  | 130 |
| 120 | 114 | 114 | —    | 66.7    | —      | —    | —    | —    | —    | —  | 390(57)  | 120 |
| 110 | 105 | 105 | —    | 62.3    | —      | —    | —    | —    | —    | —  | —        | 110 |
| 100 | 95  | 95  | —    | 56.2    | —      | —    | —    | —    | —    | —  | —        | 100 |
| 95  | 90  | 90  | —    | 52.0    | —      | —    | —    | —    | —    | —  | —        | 95  |
| 90  | 86  | 86  | —    | 48.0    | —      | —    | —    | —    | —    | —  | —        | 90  |
| 85  | 81  | 81  | —    | 41.0    | —      | —    | —    | —    | —    | —  | —        | 85  |

a) 在本表中用黑体字表示的值与按 ASTM—E140 表 1 的硬度转换值一致，由相应的 SAE—ASM—ASTM 联合会列出的。

b) 括号里的数值是超出范围的，只是提供参考。

## 利用布氏硬度压痕直径直接换算出工件的洛氏硬度

在生产现场，由于受检测仪器的限制，经常使用布氏硬度计测量大型淬火件的硬度。如果想知道该工件的洛氏硬度值，通常的方法是，先测量出布氏硬度值，然后根据换算表，查出相对应的洛氏硬度值，这种方式显然有些繁琐。那么，能否根据布氏硬度计的压痕直径，直接计算出工件的洛氏硬度值呢？答案当然是肯定的。根据布氏硬度和洛氏硬度换算表，可归纳出一个计算简单且容易记住的经验公式： $HRC = (479 - 100D) / 4$ ，其中  $D$  为  $\Phi 10\text{mm}$  钢球压头在  $30\text{KN}$  压力下压在工件上的压痕直径测量值。该公式计算出的值与换算值的误差在  $0.5 \sim -1$  范围内，该公式在现场用起来十分方便，您不妨试一试。

附录：

### 金属工艺学

金属工艺学是一门研究有关制造金属机件的工艺方法的综合性技术学科。

主要内容:1 常用金属材料性能

2 各种工艺方法本身的规律性及应用。

3 金属机件的加工工艺过程、结构工艺性。

热加工：金属材料、铸造、压力加工、焊接

目的、任务：使学生了解常用金属材料的性质及其加工工艺的基础知识，为学习其它相关课程及以后从事机械设计和制造方面的工作奠定必要的金属工艺学的基础。

[以综合为基础，通过综合形成能力]

#### 第一篇 金属材料

##### 第一章 金属材料的主要性能

两大类：1 使用性能：机械零件在正常工作情况下应具备的性能。

包括：机械性能、物理、化学性能

2 工艺性能：铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能、切削性能等。

##### 第一节 金属材料的机械性能

指力学性能---受外力作用反映出来的性能。

一 弹性和塑性：

1 弹性：金属材料受外力作用时产生变形，当外力去掉后能恢复其原来形状的性能。

力和变形同时存在、同时消失。 如弹簧：弹簧靠弹性工作。

2 塑性：金属材料受外力作用时产生永久变形而不至于引起破坏的性能。（金属之间的连续性没破坏）

塑性大小以断裂后的塑性变形大小来表示。

塑性变形：在外力消失后留下的这部分不可恢复的变形。

##### 3 拉伸图

金属材料在拉伸过程中弹性变形、塑性变形直到断裂的全部力学性能可用拉伸图形象地表示出来。

以低碳钢为例



$\sigma_b$   
 $\sigma_k$   
 $\sigma_s$   
 $\sigma_e$   
 $\varepsilon (\Delta l)$

将金属材料制成标准试样。

在材料试验机上对试件轴向施加静压力  $P$ ，为消除试件尺寸对材料性能的影响，分别以应力  $\sigma$ （即单位面积上的拉力  $4P/\pi d^2$ ）和应变（单位长度上的伸长量  $\Delta l/l_0$ ）来代替  $P$  和  $\Delta l$ ，得到应力——应变图

1) 弹性阶段  $oe$

$\sigma_e$ ——弹性极限

2) 屈服阶段：过  $e$  点至水平段右端

$\sigma_s$ ——塑性极限， $s$ ——屈服点

过  $s$  点水平段——说明载荷不增加，试样仍继续伸长。

（ $P$  一定， $\sigma=P/F$  一定，但真实应力  $P/F^1 \uparrow$  因为变形， $F^1 \downarrow$ ）  
发生永久变形

3) 强化阶段：水平线右断至  $b$  点  $P \uparrow$  变形  $\uparrow$

$\sigma_b$ ——强度极限，材料能承受的最大载荷时的应力。

4) 局部变形阶段  $b_k$

过  $b$  点，试样某一局部范围内横向尺寸突然急剧缩小。

“缩颈”（试样横截面变小，拉力  $\downarrow$ ）

4 延伸率和断面收缩率：——表示塑性大小的指针

1) 延伸率： $\delta = l_1/l_0$ ——试样原长， $l_1$ ——拉深后长

2) 断面收缩率： $F_0$ ——原截面， $F_1$ ——拉断后截面

\* 1)  $\delta$ 、 $\psi$  越大，材料塑性越好

2)  $\varepsilon$  与  $\delta$  区别：拉伸图中  $\varepsilon = \varepsilon_{弹} + \varepsilon_{塑}$ ， $\delta = \varepsilon_{max 塑}$

3) 一般  $\delta > 5\%$  为塑性材料， $\delta < 5\%$  为脆性材料。

5 条件屈服极限  $\sigma_{0.2}$

有些材料在拉伸图中没有明显的水平阶段。通常规定产生 0.2 塑性变形的应力作为屈服极限,称为条件屈服极限.

## 二 刚度

金属材料在受力时抵抗弹性变形的能力—

### 1 材料本质

弹性模量——在弹性范围内,应力与应变的比值.其大小主要决定材料本身. 相当于单位元元变形所需要的应力.

$$\sigma = E\varepsilon, E = \sigma/\varepsilon = \tan\alpha$$

## 2 几何尺寸\形状\受力

相同材料的  $E$  相同,但尺寸不同,则其刚度也不同.所以考虑材料刚度时要把  $E$ \形状\尺寸同时考虑.还要考虑受力情况.

## 三 强度

强度指金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力.

按作用力性质的不同,可分为:

抗拉强度  $\sigma_t$  抗压强度  $\sigma_c$  抗弯强度  $\sigma_w$

抗剪强度  $\tau_b$  抗扭强度  $\sigma_n$

常用来表示金属材料强度的指标:

屈服强度: ( $\text{Pa N/m}^2$ )  $P_s$ -产生屈服时最大外力,  $F_0$ -原截面

抗拉强度 ( $\text{Pa N/m}^2$ )  $P_b$ -断裂前最大应力.

$\sigma_s$  \  $\sigma_b$  在设计机械和选择评定材料时有重要意义.因金属材料不能在超过  $\sigma_s$  的条件下工作,否则会塑变.超过  $\sigma_b$  工作,机件会断裂.

$\sigma_s$ -- $\sigma_b$  之间塑性变形,压力加工

## 四 硬度

金属抵抗更硬的物体压入其内的能力—

是材料性能的综合物理量,表示金属材料在一个小的体积范围内的抵抗弹性变形\塑性变形或断裂的能力.

### 1 布式硬度 HB

用直径  $D$  的淬火钢球或硬质合金球,在一定压力  $P$  下,将钢球垂直地压入金属表面,并保持压力到规定的时间后卸荷,测压痕直径  $d$ (用刻度放大镜测)则

$HB = P/F$  ( $\text{N/mm}^2$ ) 单位一般不写.  $F$ -压痕面积.

HBS—压头用淬火钢球, HBW—压头用硬质合金球

1 因钢球存在变形问题,不能测太硬的材料,适于  $HBS < 450$ , 如铸铁,有色金属,软钢等. 而  $HBW < 650$ .

1 特点: 压痕大, 代表性全面

1 应用: 不适宜薄件和成品件

### 2 洛式硬度 H R

用金刚石圆锥在压头或钢球, 在规定的预载荷和总载荷下, 压入材料, 卸载后, 测其深度  $h$ , 由公式求出, 可在硬度计上直接读出, 无单位.

不同压头应用范围不同如下表:

|     |                  |       |             |
|-----|------------------|-------|-------------|
| HRB | $d = 1.588$ 淬火钢球 | 980.7 | 退火钢 灰铁 有色金属 |
| HRC | 120° 金刚石圆锥       | 1471  | 淬火 回火件      |
| HRA |                  | 588.4 | 硬质合金 碳化物    |

优点:易操作,压痕小,适于薄件,成品件

缺点:压痕小,代表性不全面需多测几点.

\*硬度与强度有一定换算关系,故应用广泛.根据硬度可近似确定强度,如灰铁:  $\sigma_b = 1HBS$

### 3 显微硬度(Hm)

用于测定金属组织中个别组成体,夹杂物等硬度.

显微放大测量 显微硬度(查表)与 HR 有对应关系.如:磨削烧伤表面,看烧伤层硬度变化.

## 五 冲击韧性 $a_k$

材料抵抗冲击载荷的能力

常用一次摆锤冲击试验来测定金属材料的冲击韧性,标准试样一次击断,用试样缺口处单位截面积上的冲击功来表



示  $a_k$

$a_k = A_k / F (J/m^2)$   $A_k = G(H-h)$   $G$ -重量  $F$ -缺口截面

脆性材料一般不开口,因其冲击值低,难以比较差别.

1  $a_k \uparrow$ , 冲击韧性愈好.

2  $A_k$  不直接用于设计计算:在生产中,工件很少因受一次大能量冲击载荷而破坏,多是小冲击载荷,多次冲击引起破坏,而此时,主要取决于强度,故设计时,  $a_k$  只做校核.

3  $a_k$  对组织缺陷很敏感,能够灵敏地反映出材料品质,宏观缺陷,纤维组织方面变化.

所以,冲击试验是生产上用来检验冶炼、热加工、热处理工艺质量的有效方法。

(微裂纹——应力集中——冲击——裂纹扩展)

#### 六 疲劳强度:

问题提出:许多零件如曲轴、齿轮、连杆、弹簧等在交变载荷作用下,发生断裂时的应力远低于该材料的屈服强度,这种现象——疲劳破坏。据统计,80%机件失效是由于疲劳破坏。

疲劳强度——当金属材料在无数次交变载荷作用下而不致于引起断裂的最大应力。

1 疲劳曲线——交变应力与断裂前的循环次数  $N$  之间的关系。

例如:纯弯曲,

有色金属  $N \gg 10^8$

钢材  $N > 10^7$  不疲劳破坏

2 疲劳破坏原因

材料有杂质,表面划痕,能引起应力集中,导致微裂纹,裂纹扩展致使零件不能承受所加载荷突然破坏.

3 预防措施

改善结构形状,避免应力集中,表面强化-喷丸处理,表面淬火等.

### 第二节 金属材料的物理,化学及工艺性能

#### 一 物理性能

比重: 计算毛坯重量,选材,如航天件 :轻

熔点:铸造 锻造温度(再结晶温度)

热膨胀性:铁轨 模锻的模具 量具

导热性: 铸造:金属型 锻造:加热速度

导电性: 电器元件 铜 铝

磁性:变压器和电机中的硅钢片 磨床: 工作台

#### 二 化学性能

金属的化学性能,决定了不同金属与金属,金属与非金属之间形成化合物的性能,使有些合金机械性能高,有些合金抗腐蚀性好,有的金属在高温下组织性能稳定. 如耐酸,耐碱等

如化工机械,高温工作零件等

#### 三 工艺性能

金属材料能适应加工工艺要求的能力.

铸造性,可锻性,可焊性,切削加工形等

思考题;

1 什么是应力,应变(线应变)?

2 颈缩现象发生在拉伸图上哪一点? 如果没发生颈缩,是否表明该试样没有塑性变形?

3  $\sigma_{0.2}$  的意义?能在拉伸图上画出吗?

4 将钟表发条拉成一直线,这是弹性变形还是塑性变形?如何判定变形性质?

5 为什么冲击值不直接用于设计计算?

### 第二章 金属和合金的晶体结构与结晶

#### 第一节 金属的晶体结构



### 一基本概念:

固体物质按原子排列的特征分为:

晶体: 原子排列有序,规则,固定熔点,各项异性.

非晶体:原子排列无序,不规则,无固定熔点,各项同性

如: 金属 ,合金,金刚石—晶体 玻璃,松香 沥青—非晶体

晶格: 原子看成一个点,把这些点用线连成空间格子.

结点: 晶格中每个点.

晶胞: 晶格中最小单元,能代表整个晶格特征.

晶面: 各个方位的原子平面

晶格常数: 晶胞中各棱边的长度(及夹角), 以  $A(1A=10^{-8}cm)$ 度量

金属晶体结构的主要区别在于晶格类型,晶格常数.

### 二 常见晶格类型

1 体心立方晶格: Cr, W,  $\alpha$ -Fe, Mo, V 等,特点:强度大,塑性较好,原子数: $1/8 \times 8 + 1 = 2$  20 多种

2 面心立方晶格: Cu Ag Au Ni Al Pb  $\gamma$ -Fe 塑性好

原子数:4 20 多种

4 密排六方晶格: Mg Zn Be  $\beta$ -Cr  $\alpha$ -Ti Cd(镉)

纯铁在室温高压( $130 \times 10^8 N/M^2$ )成  $\epsilon$ -Fe

原子数= $1/6 \times 12 + 1/2 \times 2 + 3 = 6$ , 30 多种

### 三 多晶结构

单晶体- 晶体内部的晶格方位完全一致.

多晶体—许多晶粒组成的晶体结构.各项同性.

晶粒—外形不规则而内部晶各方位一致的小晶体.

晶界—晶粒之间的界面.

### 第二节 金属的结晶

#### 一 金属的结晶过程(初次结晶)

1 结晶: 金属从液体转变成晶体状态的过程.

晶核形成: 自发晶核:液体金属中一些原子自发聚集,规则排列.

外来晶核:液态金属中一些外来高熔点固态微质点.

晶核长大:已晶核为中心,按一定几何形状不断排列.

\*晶粒大小控制: 晶核数目: 多—细(晶核长得慢也细)

冷却速度: 快—细(因冷却速度受限,故多加外来质点)

晶粒粗细对机械性能有很大影响,若晶粒需细化,则从上述两方面入手.

结晶过程用冷却曲线描述!

#### 2 冷却曲线

温度随时间变化的曲线—热分析法得到

1)

理论结晶温度

实际结晶温度

时间(s)

T(°C)

过冷: 液态金属冷却到理论结晶温度以下才开始结晶的现象.

2) 过冷度:理论结晶温度与实际结晶温度之差.  
(实际冷却快,结晶在理论温度下)

## 二 金属的同素异构转变(二次结晶\重结晶)

同素异构性——一种金属能以几种晶格类型存在的性质.

同素异构转变——金属在固体时改变其晶格类型的过程.

如:铁 锡 锰 钛 钴

以铁为例:  $\delta\text{-Fe}(1394^{\circ}\text{C})$   $\gamma\text{-Fe}(912^{\circ}\text{C})$   $\alpha\text{-Fe}$

体心          面心          体心

因为铁能同素异构转变,才有对钢铁的各种热处理.

(晶格转变时,体积会变化,以原子排列不同)

## 第三节 合金的晶体结构

### 一 合金概念

合金: 由两种或两种以上的金属元素或金属与非金属组成的具有金属特性的物质.

组元:组成合金的基本物质.如化学元素(黄铜:二元)金属化合物

相:在金属或合金中,具有相同成分且结构相同的均匀组成部分.相与相之间有明显的界面.

如:纯金属——一个相,温度升高到熔点,液固两相. 合金液态组元互不溶,几个组元,几个相.

固体合金中的基本相结构为固溶体和金属化合物,还可能出现由固溶体和金属化合物组成的混合物。

### 二 合金结构

#### 1 固溶体

溶质原子溶入溶剂晶格而仍保持溶剂晶格类型的金属晶体。

根据溶质在溶剂晶格中所占的位置不同,分为:

##### 1) 置换固溶体

溶质原子替代溶剂原子而占据溶剂晶格中的某些结点位置,所形成的固溶体。

\*溶质原子,溶剂原子直径相差不大时,才能置换

如:  $\text{Cu}—\text{Zn}$   $\text{Zn}$  溶解度有限。  $\text{Cu}—\text{Ni}$  溶解度无限

晶格畸变——固溶强化: 畸变时塑性变形阻力增加,强,硬增加。这是提高合金机械性能的一个途径。

##### 2) 间隙固溶体

溶质原子嵌入各结点之间的空隙,形成固溶体。溶质原子小,与溶剂原子比为  $< 0.59$ 。溶解度有限。也固溶强化。

#### 2 金属化合物

合金各组成元素之间相互作用而生成的一种新的具有金属性质,可用分子式表示的物质。如  $\text{Fe}_3\text{C}$   $\text{WC}$

特点: (1) 较高熔点、较大脆性、较高硬度。

(2) 在合金中作强化相,提高强度、硬度、耐磨性,而塑性、韧性下降,如  $\text{WC}$ 、 $\text{TiC}$ 。可通过调整合金中的金属化合物的数量、形态、分布来改变合金的性能

#### 3 机械混合物

固溶体+金属化合物、固+固——综合性能

### §4 二元合金状态图的构成

合金系: 由给定的组元可以配制成一系列成分含量不同的合金,这些合金组成一个合金系统——为研究合金系的合金成分、温度、结晶组织之间的变化规律、建立合金状态图来描述。

合金状态图——合金系结晶过程的简明图解。

实质: 温度——成分作标图,是在平衡状态下(加热冷却都极慢的条件下)得到的。

#### 二、二元合金状态图的建立

以  $\text{Pb}$  (铅) -  $\text{Sb}$  (锑) 合金为例:



- 1 配置几种 Pb-Sb 成分不同的合金。
- 2 做出每个合金的冷却曲线
- 3 将每个合金的临界点标在温度—成分坐标上，并将相通意义的点连接起来，即得到 Pb-Sb 合金的状态图。

A                      B  
D              C              E

液相线：ACB 固相线：DCE 单相区：只有一个相。

两相区：两个相。ACD、BCE。c—共晶点

\*作业：

### 第三章 铁碳合金

#### §1 铁碳合金的基本组织

液态：Fe、C 无限互溶。 固态：固溶体 金属化合物

t °C

1538  $\delta$ -Fe+C —— 铁素体 F

1394  $\gamma$ -Fe+C —— 奥氏体 A

912  $\alpha$ -Fe+C —— 铁素体 F

s

—铁素体

碳溶于  $\alpha$ -Fe 形成的固溶体——铁素体 F

体心立方，显微镜下为均匀明亮的多边形晶粒。

性能：韧性很好（因含 C 少），强、硬不高。 $\delta=45\sim50\%$ ，HBS=

$\sigma_b=250\text{Mpa}$  含碳：727°C，0.02%

#### 二 奥氏体

碳溶于  $\gamma$ -Fe 中形成的固溶体——“A”

面心立方，显微镜下多边形晶粒，晶界较 F 平直。

性能：塑性好，压力加工所需要组织。含碳最高：1147°C，2.11% HBS=170~220

#### 三 渗碳体

金属化合物  $\text{Fe}_3\text{C}$  复杂晶格，含碳：6.69%。性能：硬高 HB(sw)>800，脆，作强化相。

在一定条件下会分解成铁和石墨，这对铸造很有意义。

#### 四 珠光体 P

F+ $\text{Fe}_3\text{C}$ ——机械混合物，含碳 0.77%

组织：两种物质相间组成，性能：介于两者之间。强度较高：硬度 HBS=250

#### 五 莱氏体

>727°C A+ $\text{Fe}_3\text{C}$ ——Ld 高温莱氏体 <727°C P+ $\text{Fe}_3\text{C}$ ——Ld' 低温莱氏体



性能: 与  $\text{Fe}_3\text{C}$  相似 HBS>700 塑性极差.

## §2 铁碳合金状态图

是表明平衡状态下含 C 不大于 6.69% 的铁碳合金的成分, 温度与组织之间关系, 是研究钢铁的成分, 组织和性能之间关系的基础, 也是制定热加工工艺的基础.

含 C>6.69 在工业上无实际意义, 而含 C 6.69% 时, Fe 与 C 形成  $\text{Fe}_3\text{C}$ , 故可看成一个组元, 即铁碳合金状态图实际为 Fe- $\text{Fe}_3\text{C}$  的状态图.

### —铁碳合金状态图中点线面的意义

#### 1 各特性点的含义

- 1) A: 纯铁熔点 含 C: 0% 1538°C
- 2) C: 共晶点 4.3% 1148
- 3) D:  $\text{Fe}_3\text{C}$  熔点 6.69 1600
- 4) E: C 在 A 中最大溶解度 2.11 1148
- 5) F:  $\text{Fe}_3\text{C}$  成分点 6.69 1148
- 6) G:  $\alpha\text{-Fe}$  与  $\gamma\text{-Fe}$  转变点 0% 912
- 7) K:  $\text{Fe}_3\text{C}$  成分点 6.69 727
- 8) P: C 在  $\alpha\text{-Fe}$  中最大溶解度 0.02 727
- 9) S: 共析点 0.77 727
- 10) Q: C 在  $\alpha\text{-Fe}$  中溶解度 0.0008 室温

#### 2 主要线的意义

- 1) ACD: 液相线, 液体冷却到此线开始结晶.
- 2) AEFC: 固相线 此线下合金为固态
- 3) ECF: 生铁固相线, 共晶线, 液体—Ld
- 4) AE: 钢的固相线, 液态到此线—A
- 5) GS: "A<sub>3</sub>" A 到此线开始析出 F
- 6) ES: "A<sub>cm</sub>" A 到此线开始析出  $\text{Fe}_3\text{C}_{II}$
- 7) PSK: "A<sub>1</sub>" 共析线, A 同时析出 P(F+ $\text{Fe}_3\text{C}$ )

#### 3 主要区域

- 1) ACE: 两相区 L+A    2) DCF: 两相区 L+ $\text{Fe}_3\text{C}_I$
- 3) AESG: 单相区 A    4) GPS: A+F 两相区

## 二 钢铁分类

1 工业纯铁: 含 C<0.0218% 组织:F

2 钢: 含碳: 0.0218~2.11

共析钢 含 C=0.77%    P

亚共析钢 含 C<0.77%    P+F

过共析钢 含 C>0.77%    P+ $\text{Fe}_3\text{C}_{II}$

3 铁 含 C:2.11%~6.69%

共晶生铁 4.3% C Ld'

亚共晶生铁 < 4.3% C P+Ld'+ Fe<sub>3</sub>C<sub>II</sub>

过共晶生铁 > 4.3% C Ld'+ Fe<sub>3</sub>C<sub>I</sub>

### 三 典型合金结晶过程分析

#### 1 共析钢

L—L+A—A—P

#### 2 亚共析钢

L—A+L—A—A+F—F+P

#### 3 过共析钢

L—L+A—A—A+ Fe<sub>3</sub>C<sub>II</sub>-- Fe<sub>3</sub>C<sub>I</sub>+P

#### 4 共晶铁

L—Ld—Ld'

#### 5 亚共晶铁

L—1 点—L+A—A+Ld—P+Ld'

#### 6 过共晶铁

L—1 点—L+Fe<sub>3</sub>C<sub>I</sub>—2 点—Ld+ Fe<sub>3</sub>C<sub>I</sub>—3 点--- Fe<sub>3</sub>C<sub>I</sub>+Ld'

### 四 铁碳合金状态图的应用

#### 1 铸造

确定浇铸温度 选材: 共晶点附近铸造性能好

#### 2 锻造 锻造温度区间 A

#### 3 焊接 焊接缺陷用热处理改善.根据状态图制定热处理工艺

### §3 钢的分类和应用

按化学成分:碳钢: <2.11%C 少量 Si Mn S P 等杂质

合金钢:加入一种或几种合金元素

#### 一 碳钢

##### 1 含碳量对碳钢性能的影响

<0.9%C C↑强,硬↑ 塑,韧↓ FeC 强化相

>0.9%C C↑ 硬↑, 强, 塑,韧↓ FeC 分布晶界,脆性↑

##### 2 钢中常见杂质对性能的影响

Si: 溶于 F,强化 F, 强,硬↑ 塑,韧↓. 含量<0.03~0.4% 有益作用不明显

Mn: 1)溶于 F,Fe<sub>3</sub>C.引起固溶强化. 2)与 FeS 反应—MnS 比重轻,进入熔渣,如量少,有益作用不明显.

S: FeS—(FeS+Fe)共晶体,熔点 985℃,分布晶界,引起脆性”热脆”

P: 溶于 F,是强度,硬度↑,但室温塑性,韧性↓↓ “冷脆”

### 3 碳钢的分类

1) 按含碳量分

低碳钢 <0.25%C 中碳钢: 0.25~0.6%C, 高碳钢>0.6%C

2) 按质量分(含 S,P 多少分)

普通钢 S≤0.055%,P≤0.045%

优质钢 S,P≤0.04%

高级优质钢 S≤0.03% P≤0.035%

3)按用途分 碳素结构钢, 碳素工具钢 >0.6%C

### 4 碳钢的编号和用途

1)普通碳素结构钢:

Q235 数字表示屈服强度 单位 Mpa

2)优质碳素结构钢

正常含锰量的优质碳素结构钢: 0.25~0.8%Mn

较高含锰量 0.15~0.6%C 0.7~1.0%Mn , >0.6%C 0.9~1.2%Mn

08 10 15 20 25 强↓ 塑↑ 冲压件 焊件

30 35 40 45 50 55 60 强↑硬↑ 弹簧,轴,齿轮 耐磨件

65 70 75 80 85 耐磨件

数字表示含 C 万分 8 之几

3)碳素工具钢

T<sub>7</sub>T<sub>8</sub> T<sub>13</sub> 数字表示含 C 千分之几

高级优质钢加 A 含 Mn 高,加 Mn T<sub>8</sub>MnA

## 二 合金钢

常加合金元素: Mn Si Cr Ni Mo W V Ti B(硼) 稀土元素(Xt)等

### 1 合金结构钢

“数 +元素符号+数”表示

数—含碳万分之几, 符号—合金元素,

符号后面数表示含合金%, <1.5% 不标, =1.5% 标 2

若为高级优质钢,后加 A

如: 60Si2Mn 0.6%C, 2%Si <1.5%Mn

18Cr2Ni4WA 0.18%C, 2%Cr, 4%Ni, <1.5%W 高级优质

应用: 工程结构件, 机械零件

主要包括:低合金钢,合金渗碳钢,合金调质钢,合金弹簧钢,滚动轴承钢等

2 合金工具钢:

数+元素符号+数

与结构钢同

数—一位数, 含 C 千分之几,含 C>=1.0% 不标

如: 9SiCr (板牙, 丝锥)

0.9%C <1.5%Si <1.5%Cr

CrWMn (长铰刀,丝锥,拉刀, 精密丝杠)



\*高速钢 含 C<1.0 也不标 W18Cr4V 0.7~0.8%C,18%W,4%Cr,<1.5%V

应用:刀具,模具,量具等

### 3 特殊性能钢

不锈钢: 1Cr13 1Cr18Ni9Ti 等

耐热钢: 1Cr13 2Cr13 >400°C 工作

耐磨钢: 高锰钢水韧处理,冲击下工作,表面产生加工硬化.并有马氏体在滑移面形成,表面硬度达 HB450~550,表面耐磨,心部为 A.

水韧处理: 钢加热到临界点以上(1000~1100°C)保温,碳化物全溶于 A,水冷,因冷速快,无法析出碳化物,成单一 A 组织.

## §5 常用非金属材料

### 一 高分子材料

天然: 羊毛 橡胶

人工合成: 塑料 人工橡胶 粘结剂等

有机玻璃 尼龙 丙纶 氯纶---商品名

工程塑料: 环氧树脂

聚甲醛: 塑料手表中零件

聚酰亚胺: 绝缘

### 二 陶瓷

耐磨 耐蚀 脆 刀片 砂轮

### 三 复合材料

磨削软片: 聚酰亚胺+金刚石

## §4 金属零件选材的一般原则

产品的质量和生产成本如何,与材料选择的是否恰当有直接关系,机械零件进行选材时,主要考虑零件的工作条件,材料的工艺性能和产品的成本.

基本原则如下:

#### 1 满足零件工作条件:

受力状态—机械性能,基本  $\sigma \delta \alpha_k$  等

工作温度环境介质—使用环境 ,高温—耐热,抗腐蚀—不锈钢 高硬度—工具钢

#### 2 材料的工艺性能

零件的生产方法不同,直接影响其质量和生产成本.

如:灰口铁,铸造性能 切削加工性很好,可锻性差.

#### 3 经济性

价值=功能/成本

如: 耐腐蚀容器: 1)普通碳素钢:5000 元 用一年

2)奥氏体不锈钢: 40000 元 用 10 年

3)铁素体不锈钢: 15000 元 用 6 年

1):2):3) =1:1.25:2

## 第四章 钢的热处理

### §1 概述

一 钢的热处理: 把钢在固态下加热到一定的温度进行必要的保温,并以适当的速度冷却到室温,以改变钢的内部组织,从而得到所需性能的工艺方法

\* 只改变组织和性能,而不改变其形状和大小.热处理是改善材料性能的重要手段之一,能提高产品质量,延长机件寿命,节约金属材料,所以,重要机件都要经过热处理.

(提问:前面学过的改善金属材料性能的手段—固溶强化)

热处理工艺曲线: 各种热处理都可以用温度—时间的坐标图形表示.

温度  
保温  
临界温度  
加热 冷却  
时间

应用广泛:机械制造业中 70%零件需热处理.汽车 拖拉机 制造业 70~80%

量具 刀具 模具 滚动轴承等 100%

## 二 目的

- 1 冶金 锻 铸 焊毛坯或成品,消除缺陷,改善工艺性能.为后续加工(如机加)做好组织,性能,准备. 退火 正火
- 2 是钢件的机械性能提高,达到钢件的最终使用性能指标,以满足机械零件或工具使用性能要求. 淬火+回火 表面淬火 化学处理

### 1 依据:状态图

#### §2 热处理过程中的组织转变

##### 一 钢在加热时的组织转变

###### 1 临界温度:

状态图上  $A_1$  : 共析线(P-A)

临界温度:  $A_3$  : A 析出 F(F-A) 极缓慢冷却

$A_{cm}$  : A 析出  $Fe_3C_{II}$ ( )

实际加热临界温度  $A_{c1}$

$A_{c3}$  A “过热”

$A_{ccm}$

实际冷却临界温度  $A_{r1}$  P

$A_{r3}$  A 析出 F “过冷”

$A_{rcm}$  析出  $Fe_3C_{II}$

## 2 组织转变

1) 共析钢: P(F+ $Fe_3C$ )---A

(1) A 晶核形成:F 和  $Fe_3C$  界面上先形成 A 晶核



(因界面原子排列不规则,缺陷多,能量低)

(2) A 晶核长大: F 晶格转变,  $\text{Fe}_3\text{C}$  不断溶入 A, A 晶核不断生成, 长大. F 转变快, 先消失.

(3) 残余渗碳体的溶解: 随保温时间加长, 残余  $\text{Fe}_3\text{C}$  逐渐溶入 A

(4) A 成分均匀化: A 转变完成后, 各处含 C 浓度不均匀, 继续保温, C 充分扩散, 得到单一的均匀 A

这个过程是 A 重结晶的过程.

2) 亚共析钢:  $\text{F}+\text{P} \rightarrow \text{Ac}_1 \rightarrow \text{F}+\text{A} \rightarrow \text{Ac}_3 \rightarrow \text{A}$

3) 过共析钢:  $\text{P}+\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} \rightarrow \text{Ac}_1 \rightarrow \text{A}+\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}} \rightarrow \text{Accm} \rightarrow \text{A}$  (晶粒粗化)

## 二 钢在冷却时的组织转变

(钢在室温时的机械性能不仅与加热, 保温有关, 与冷却过程也有关)

### 1 冷却方式

1) 连续冷却: 时加热到 A 的钢, 在温度连续下降的过程中发生组织转变.

水冷 油冷 空冷(正火) 炉冷(退火)

2)

$\text{Ar}_1$

(2)

(1)

等温冷却: 使加热到 A 的钢, 先以较快的速度冷却到  $\text{Ar}_1$  线下某一温度, 成为过冷 A, 保温, 使 A 在等温下发生组织转变, 转变完, 再冷却到室温.

等温退火 等温淬火

### 2 共析钢冷却时的等温转变

以共析钢为例, 进行一系列不同过冷度的等温冷却实验, 可以测出过冷奥氏体在恒温下开始转变和转变终了的时间, 画到“温度—时间”坐标系中, 然后, 把开始转变的时间和转变终了的时间分别连接起来, 即得到共析钢的奥氏体等温转变曲线. 又叫 C 曲线.

#### 1) 高温产物:

$\text{Ar}_1 \sim 650^\circ\text{C}$  P 层片较厚 500X 显微镜 HRC10-20

$650 \sim 600^\circ\text{C}$  细珠光体 索氏体 S HRC25~35 层片较薄 800~1000X

$600 \sim 550^\circ\text{C}$  极细珠光体 屈氏体 T HRC30~40 层片极薄

1 a) 以上三种均为 F +  $\text{Fe}_3\text{C}$  层片相间的珠光体, 只是层片厚度不同.

1 b) 由于过冷度从小到大, 原子活动能力由强到弱, 致使析出的渗碳体和铁素体层片越来越来薄.

1 c) 珠光体层片越薄, 塑变抗力越大, 强, 硬越大.

#### 2) 中温产物

$550 \sim 350^\circ\text{C}$  上贝氏体  $\text{B}_\text{上}$  电镜下观察, 渗碳体不连续, 短杆状, 分布于许多平行而密集的铁素体条之间.

$350 \sim 230^\circ\text{C}$  下贝氏体  $\text{B}_\text{下}$  比  $\text{B}_\text{上}$  有较高强、硬、韧、塑。片状过饱和 F 和其内部沉淀的碳化物组织 (因为过饱和 F 有析出  $\text{Fe}_3\text{C}$  倾向, 但过冷度太大, 导致碳原子没能扩散超出 F 片, 只是在片内沿一定晶面聚集, 沉淀出碳化物粒子)

#### 3) 低温转变产物:

$230 \sim -50^\circ\text{C}$  马氏体 (M) + 残余 A 马氏体: 过饱和的  $\alpha$  固溶体“M”

(由于温度低, 原子活动能力低, 晶格转变完成, 但是, C 原子不能从面心中扩散出来, 仍留在体心中, 形成过饱和  $\alpha$  固溶体)

$\therefore$  晶格严重畸形,  $\therefore$  M 硬  $\uparrow$  HRC65 塑 韧  $\rightarrow 0$

### 3 共析钢连续冷却转变

连续冷却可能发生几种转变, 很复杂.

共析钢连续冷却, 只有珠光体转变区和马氏体转变区。

珠光体转变区: 三条线构成: 开始, 终了, 终止线



冷却速度过“开始”“终了”线，组织为珠光体

冷却速度过“开始”“终止”线，组织为珠光体和马氏体

冷却速度不过珠光体区，则为 M

### §3 钢的热处理工艺

热处理: 整体热处理: 退火 正火 淬火 回火

表面热处理: 表面淬火 化学热处理—渗碳 渗氮

#### 一 退火

将钢件加热到高于或低于钢的临界点,保温一定时间,随后在炉内或埋入导热性较差的介质中缓慢冷却,以获得接近平衡的组织,这种工艺叫—

目的: 1) 降低硬度—切削加工

2) 细化晶粒,改善组织—提高机械性能

3) 消除内应力—淬火准备

4) 提高塑性,韧性—冷冲压, 冷拉拔

**1 完全退火:**将钢加热到  $Ac_3$  以上  $30\sim 50^\circ C$ ,保温一定时间后,缓慢冷却以获得接近平衡状态组织(P+F)的热处理工艺.

目的:通过完全重结晶,使锻,铸,焊件降低硬度,便于切削加工,同时可消除内应力,使 A 充分转变成正常的 F 和 P.

应用: 亚共析钢

\* 不能用于共析钢,∵在  $Accm$  以上缓冷,会析出网状渗碳体( $Fe_3C_{II}$ ),脆性↑

**2 不完全退火:**将共析钢或过共析钢加热到  $Ac_1$  以上  $20\sim 30^\circ C$ ,适当保温,缓慢冷却的热处理工艺-- 又叫球化退火.

目的:使珠光体组织中的片状渗碳体转变为粒状或球状,这种组织能将低硬度,改善切削加工性.并为以后淬火做准备.减小变形和开裂的倾向.

应用:共析钢,过共析钢(球化退火)

**3 等温退火:** 将钢件加热到  $Ac_3A$  (亚共析钢) 或  $Ac_1$ (共析钢或过共析钢)以上,保温后较快地冷却到稍低于  $Ar_1$  的温度,再等温处理,A 转变成 P 后,出炉空冷.

目的: 节省退火时间,得到更均匀的组织,性能.

应用: 合金工具钢,高合金钢

**4 去应力退火:**将钢加热到  $Ac_1$  以下某一温度(约  $500\sim 650^\circ C$ )保温后缓冷.

(又叫低温退火)

目的:消除内应力

应用:铸,锻,焊

\*不发生相变,重结晶 例子:杯裂

**5 再结晶退火:**将钢件加热到再结晶温度以上  $150\sim 250^\circ C$ ,即  $650\sim 750^\circ C$ ,保温,空冷.

目的: 发生再结晶,消除加工硬化.

应用: 冷扎,冷拉,冷压等

\* 可能相变

**6 扩散退火:** 均匀化退火,高温进行

目的:消除偏析,应用:铸件

#### 二 正火

钢件加热到  $Ac_3$ (亚)或  $Accm$ (过共)以上  $30\sim 50^\circ C$ ,保温,空冷

\* 正火作用与退火相似,区别是正火冷速快,得到非平衡的珠光体组织,细化晶粒,效果好,能得到片层间距较小的珠光体组织.

与退火对比

| 含碳量 | 碳素结构钢(HB) |            |            | 碳素工具钢(HB)   |
|-----|-----------|------------|------------|-------------|
| 工艺  | ≤0.25     | 0.25~0.65% | 0.65~0.85% | 0.7~1.3%    |
| 退火  | ≤150      | 150-220    | 220-229    | 187-217(球化) |
| 正火  | ≤156      | 156-228    | 230-280    | 229-341     |

实践表明:工件硬度 HB170-230 时,对切削有利

正火目的:1 提高机械性能

2 改善切削加工性

3 为淬火作组织准备—大晶粒易开裂

对于过共析钢,正火能减少二次渗碳体的析出,使其不形成连续的网状结构,有利于缩短过共析钢的球化退火过程,经正火和球化退火的过共析钢有较高的韧性,淬火就不易开裂,用于生产过共析钢的工具的工艺路线:

锻造—正火—球化退火—切削加工—淬火, 回火—磨

低碳钢,正火代替退火,中 C 钢: 正火代调质(但晶粒不均)

### 三 淬火

将钢件加热到 Ac3(亚)或 Ac1(过)以上 30-50℃,经过保温,然后在冷却介质中迅速冷却,以获得高硬度组织的一种热处理工艺.

目的:提高硬度,耐磨性

应用:工具,模具,量具,滚动轴承.

组织:马氏体.下贝氏体

淬火冷却:决定质量,理想冷却速度两头慢中间快.减少内应力.

#### 1 常用淬火法:

1) 单液淬火(普通淬火):在一种淬火介质中连续冷却至室温.如碳钢水冷

缺点: 水冷,易变形,开裂. 油冷:易硬度不足,或不均

优点: 易作,易自动化.

2) 双液淬火:先在冷却能力较强的介质中冷却到 300℃左右,再放入冷却到冷却能力较弱的介质中冷却,获得马氏体.

对于形状的碳钢件,先水冷,后空冷.

优点: 防低温时 M 相变开裂.

3) 分级淬火:工件加热后迅速投入温度稍高于 Ms 点的冷却介质中,(如盐浴火碱浴槽中)停 2-5 分(待表面与心部的温差减少后再取出)取出空冷.

应用:小尺寸件(如刀具淬火) 防变形,开裂

优点: 工艺理想,操作容易

缺点: ∴ 在盐浴中冷却,速度不够大 ∴ 只适合小件

4) 等温淬火:将加热后的钢件放入稍高于 Ms 温度的盐浴中保温足够时间, 使其发生下贝氏体转变,随后空冷.

应用: 形状复杂的小零件,硬度较高,韧性好,防变形,开裂.

例子:螺丝刀(T7 钢制造)

用淬火+低温回火 HRC55, 韧性不够,扭 10° 时易断

如用等温淬火, HRC55~58 韧性好, 扭 90° 不断

等温淬火后如有残余 A,需回火, A-F 如没有残余 A,不需回火

缺点:时间长

#### 2 钢的淬透性与淬硬性

淬透性:钢在淬火时具有获得淬硬层深度的能力.

淬硬性:在淬火后获得的马氏体达到的硬度,它的大小取决于淬火时溶解在奥氏体中的碳含量.



#### 四 回火

将淬火后的钢加热到  $A_{c1}$  以下某一温度,保温一定时间,后冷却到室温的热处理工艺.

目的:消除淬火后因冷却快而产生的内应力,降低脆性,使其具有韧性,防止变形,开裂,调整机械性能.

##### 1 低温回火:加热温度 $150\sim 250^{\circ}\text{C}$

组织: 回火马氏体—过饱和度小的  $\alpha$ -固溶体,片状上分布细小  $\epsilon$ -碳化物

目的: 消除内应力,硬度不降.HRC58~64

应用: 量具,刀具

低碳钢: 高塑性,韧性,较高强度配合

##### 2 中温回火:加热温度 $350\sim 500^{\circ}\text{C}$

组织: 极细的球(粒)状  $\text{Fe}_3\text{C}$  和 F 机械混合物. (回火屈氏体)

目的:减少内应力,提高弹性,硬度略降.

应用:(0.45~0.9%)弹簧,模具 高强度结构钢

##### 3 高温回火: $500\sim 650^{\circ}\text{C}$

组织: 回火索氏体—较细的球(粒)状  $\text{Fe}_3\text{C}$  和 F 机械混合物.

目的: 消除内应力,较高韧性,硬度更低.

应用: 齿轮,曲轴,连杆等(受交变载荷)

淬火+高温回火---调质

#### 五 表面淬火

表面层淬透到一定深度而中心部仍保持原状态.

应用:既受摩擦,又受交变,冲击载荷的件.

目的:提高表面的硬度,有利的残余应力.

提高表面耐磨性,疲劳强度

加热方法:1 火焰: 单间小批局部,质量不稳

##### 2 感应加热: 质量不稳

#### 六 化学热处理

工件放在某种化学介质中加热,保温,使化学元素渗入工件表面,改善工件表面性能.

应用: 受交变载荷,强烈磨损,或在腐蚀,高温等条件下工作的工件.

渗 C: 表面成高碳钢,细针状高碳马氏体(0.85~1.05%),心部又有高韧性的受力较大的齿轮,轴类件

固体渗碳, 液体渗碳,气体渗碳(常用:渗碳剂如甲醇+丙酮  $900\sim 930^{\circ}\text{C}$ )

如: 低碳钢,表层: $\text{P}+\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$  内部: $\text{P}+\text{F}$

热处理:淬火+低温回火 得到回火 M(细小片状)+  $\text{Fe}_3\text{C}_{\text{II}}$

表面含 C: 0.85~1.05% 若表面含 C 低,得到低含 C 的回火 M,硬度低

含 C 高,网状或大量块状渗 C 体,脆性 $\uparrow$

渗 N: 表面硬度,耐磨性,耐蚀性,疲劳强度 $\uparrow$

温度:  $500\sim 570^{\circ}\text{C}$  最后工序. 为保证内部性能,氮化前调质

优点: 氮化后不淬火,硬度高(>HV850),氮化层残余压应力,疲劳强度 $\uparrow$

氮化物抗腐蚀. 温度低,变形小.

碳氮共渗: 硬度高,渗层较深,硬度变化平缓,具有良好的耐磨性,较小的表面脆性.



## 第二篇 铸 造

### 概述

#### 一 什么是铸造?

将液体金属浇铸到与零件形状相适应的铸造空腔中,待其冷却凝固后,以获得零件或毛坯的方法.

#### 二 特点

##### 1 优点:

- 1) 可以生产形状复杂的零件,尤其复杂内腔的毛坯(如暖气)
  - 2) 适应性广,工业常用的金属材料均可铸造. 几克~几百吨.
  - 3) 原材料来源广泛.价格低廉. 废钢,废件,切屑
  - 4) 铸件的形状尺寸与零件非常接近,减少切削量,属少无切削加工.
- ∴ 应用广泛: 农业机械 40~70% 机床:70~80% 重量铸件

##### 2 缺点:

- 1) 机械性能不如锻件(组织粗大,缺陷多等)
- 2) 砂性铸造中,单件,小批,工人劳动强度大.
- 3) 铸件质量不稳定,工序多,影响因素复杂,易产生许多缺陷.

铸造的缺陷对铸件质量有着重要的影响,因此,我们从铸件的质量入手,结合铸件主要缺陷的形成与防止,为选择铸造合金和铸造方法打好基础.

## 第一章 铸造工艺基础

### §1 液态合金的充型

充型: 液态合金填充铸型的过程.

充型能力: 液态合金充满铸型型腔,获得形状完整,轮廓清晰的铸件的能力

充型能力不足:易产生: 浇不足: 不能得到完整的零件.

冷隔:没完整融合缝隙或凹坑, 机械性能下降.

#### 一 合金的流动性

液态金属本身的流动性----合金流动性

##### 1 流动性对铸件质量影响

- 1) 流动性好,易于浇出轮廓清晰,薄而复杂的铸件.
- 2) 流动性好,有利于液态金属中的非金属夹杂物和气体上浮,排除.
- 3) 流动性好,易于对液态金属在凝固中产生的收缩进行补缩.

##### 2 测定流动性的方法:

以螺旋形试件的长度来测定: 如 灰口铁:浇铸温度 1300℃ 试件长 1800mm.

铸钢: 1600℃ 100mm

##### 3 影响流动性的因素

主要是化学成分:

- 1) 纯金属流动性好:一定温度下结晶,凝固层表面平滑,对液流阻力小
- 2) 共晶成分流动性好:恒温凝固,固体层表面光滑,且熔点低,过热度大.
- 3) 非共晶成分流动性差: 结晶在一定温度范围内进行,初生数枝状晶阻碍液流

## 二 浇注条件

1 浇注温度:  $t \uparrow$  合金粘度下降,过热度高. 合金在铸件中保持流动的时间长,  
 $\therefore t \uparrow$  提高充型能力. 但过高,易产生缩孔,粘砂,气孔等,故不宜过高

2 充型压力: 液态合金在流动方向上所受的壓力 $\uparrow$  充型能力 $\uparrow$   
如 砂形铸造---直浇道,静压力. 压力铸造,离心铸造等充型压力高.

## 三 铸型条件

1 铸型结构: 若不合理,如壁厚小, 直浇口低, 浇口小等 充 $\downarrow$

2 铸型导热能力: 导热 $\uparrow$  金属降温快,充 $\downarrow$  如金属型

3 铸型温度:  $t \uparrow$  充 $\uparrow$  如金属型预热

4 铸型中气体: 排气能力 $\uparrow$  充 $\uparrow$  减少气体来源,提高透气性, 少量气体在铸型与金属液之间形成一层气膜,减少流动阻力,有利于充型.

## §2 铸件的凝固和收缩

1  
2  
3

铸件的凝固过程如果没有合理的控制, 铸件易产生缩孔, 缩松

### 一 铸件的凝固

#### 1 凝固方式:

铸件凝固过程中,其断面上一般分为三个区: 1—固相区 2—凝固区 3—液相区  
对凝固区影响较大的是凝固区的宽窄,依此划分凝固方式.

##### 1) 逐层凝固:

纯金属,共晶成分合金在凝固过程中没有凝固区,断面液,固两相由一条界限清楚分开,随温度下降,固相层不断增加,液相层不断减少,直达中心.

##### 2) 糊状凝固

合金结晶温度范围很宽,在凝固某段时间内,铸件表面不存在固体层,凝固区贯穿整个断面,先糊状,后固化.故---

##### 3) 中间凝固

大多数合金的凝固介于逐层凝固和糊状凝固之间.

#### 2 影响铸件凝固方式的因素

##### 1) 合金的结晶温度范围

范围小: 凝固区窄,愈倾向于逐层凝固

如: 砂型铸造, 低碳钢 逐层凝固, 高碳钢 糊状凝固

##### 2) 铸件的温度梯度

合金结晶温度范围一定时,凝固区宽度取决于铸件内外层的温度梯度.

温度梯度愈小,凝固区愈宽.(内外温差大,冷却快,凝固区窄)

## 二 合金的收缩

液态合金从浇注温度至凝固冷却到室温的过程中,体积和尺寸减少的现象---是铸件许多缺陷(缩孔,缩松,裂纹,变形,残余应力)产生的基本原因.

### 1 收缩的几个阶段

1) 液态收缩: 从金属液浇入铸型到开始凝固之前. 液态收缩减少的体积与浇注温度至开始凝固的温度的温差成正比.

2) 凝固收缩: 从凝固开始到凝固完毕. 同一类合金,凝固温度范围大者,凝固体积收缩率大.如: 35 钢,体积收缩率 3.0%, 45 钢 4.3%

3) 固态收缩: 凝固以后到常温. 固态收缩影响铸件尺寸,故用线收缩表示.



## 2 影响收缩的因素

1) 化学成分: 铸铁中促进石墨形成的元素增加,收缩减少. 如: 灰口铁 C, Si↑,收↓,S↑ 收↑.因石墨比容大,体积膨胀,抵销部分凝固收缩.

2) 浇注温度: 温度↑ 液态收缩↑

3) 铸件结构与铸型条件

铸件在铸型中收缩会受铸型和型芯的阻碍,实际收缩小于自由收缩.∴ 铸型要有好的退让性.

## 3 缩孔形成

在铸件最后凝固的地方出现一些空洞,集中—缩孔. 纯金属,共晶成分易产生缩孔

\*产生缩孔的基本原因: 铸件在凝固冷却期间,金属的液态及凝固收缩之和远远大于固态收缩.

## 4 影响缩孔容积的因素(补充)

1) 液态收缩,凝固收缩 ↑ 缩孔容积↑

2) 凝固期间,固态收缩↑,缩孔容积↓

3) 浇注速度↓ 缩孔容积↓

4) 浇注速度↑ 液态收缩↑ 易产生缩孔

## 5 缩松的形成

由于铸件最后凝固区域的收缩未能得到补足,或者,因合金呈糊状凝固,被树枝状晶体分隔开的小液体区难以得到补缩所至.

1) 宏观缩松

肉眼可见,往往出现在缩孔附近,或铸件截面的中心.非共晶成分,结晶范围愈宽,愈易形成缩松.

2) 微观缩松

凝固过程中,晶粒之间形成微小孔洞---

凝固区,先形成的枝晶把金属液分割成许多微小孤立部分,冷凝时收缩,形成晶间微小孔洞. 凝固区愈宽,愈易形成微观缩松,对铸件危害不大,故不列为缺陷,但对气密性,机械性能等要求较高的铸件,则必须设法减少.(先凝固的收缩比后凝固的小,因后凝固的有液,凝固三个收缩,先凝固的有凝固二个收缩区----这也是形成微观缩松的基本原因.与缩孔形成基本原因类似)

## 6 缩孔,缩松的防止办法

基本原则: 制定合理工艺—补缩, 缩松转化成缩孔.

顺序凝固: 冒口—补缩

同时凝固: 冷铁—厚处. 减小热应力,但心部缩松,故用于收缩小的合金.

1 安置冒口,实行顺序凝固,可有效的防止缩孔,但冒口浪费金属,浪费工时,是铸件成本增加.而且,铸件内应力加大,易于产生变形和裂纹.∴ 主要用于凝固收缩大,结晶间隔小的合金.

1 非共晶成分合金,先结晶树枝晶,阻碍金属流动,冒口作用甚小.

1 对于结晶温度范围甚宽的合金,由于倾向于糊状凝固,结晶开始之后,发达的树枝状骨状布满整个截面,使冒口补缩道路受阻,因而难免显微缩松的产生.显然,选用近共晶成分和结晶范围较窄的合金生产铸件是适宜的.

## §3 铸造内应力,变形和裂纹

凝固之后的继续冷却过程中,其固态收缩若受到阻碍,铸件内部就发生内应力,内应力是铸件产生变形和裂纹的基本原因.(有时相变膨胀受阻,负收缩)

### 一 内应力形成

1 热应力: 铸件厚度不均,冷速不同,收缩不一致产生.

塑性状态: 金属在高于再结晶温度以上的固态冷却阶段,受力变形,产生加工硬化,同时发生的再结晶降硬化抵消,内应力自行消失.(简单说,处于屈服状态,受力—变形无应力)

弹性状态: 低于再结晶温度,外力作用下,金属发生弹性变形,变形后应力继续存在.

举例: a) 凝固开始,粗 细处都为塑性状态,无内应力

∴ 两杆冷速不同,细杆快,收缩大,∴ 受粗杆限制,



不能自由收缩,相对被拉长,粗杆相对被压缩,结果两杆等量收缩.

b) 细杆冷却大,先进如弹性阶段,而粗杆仍为塑性阶段,随细杆收缩发生塑性收缩,无应力.

c) 细杆收缩先停止,粗杆继续收缩,压迫细杆,而细杆又阻止粗杆的收缩,至室温,粗杆受拉应力(+),(-)

由此可见,各部分的温差越大,热应力也越大,冷却较慢的部分形成拉应力,冷却较快的部分形成压应力.

预防方法: 1 壁厚均匀 2 同时凝固—薄处设浇口,厚处放冷铁

优点: 省冒口,省工,省料

缺点: 心部易出现缩孔或缩松,应用于灰铁锡青铜,因灰铁缩孔、缩松倾向小,锡青铜糊状凝固,用顺序凝固也难以有效地消除其显微缩松。

## 2 机械应力

合金的线收缩受到铸型或型芯机械阻碍而形成的内应力。

机械应力是暂时的,落砂后,就自行消失.\*机械应力与热应力共同作用,可能使某些部位增加了裂纹倾向.

预防方法: 提高铸型和型芯的退让性.

## 3 相变应力

冷却过程中,固态相变时,体积会发生变化.如 A—P, A—P 体积会增大, $Fe_3C$ —石墨,体积↑. 若体积变化受阻.则产生内应力---

**铁碳合金三种应力在铸件不同部位情况如下表:**

| 铸件部位  | 热应力 | 相变应力 |     | 机械应力 |     |
|-------|-----|------|-----|------|-----|
|       |     | 共析转变 | 石墨化 | 落砂前  | 落砂后 |
| 薄或外层- | -   | +    | +   | +    | 0   |
| 厚或内层+ | +   | -    | -   | +    | 0   |

前面讲过预防应力方法,若产生应力,还可通过自然时效和人工时效的方法消除应力.

## 二 变形与防止

铸件通过自由变形来松弛内应力,自发过程.铸件厂发生不同程度的变形.

举例: 平板铸件

∴ 平板中心散热慢,受拉力.平板下部冷却慢.

∴ 发生如图所示变形

防止方法: 1 壁厚均匀,形状对称,同时凝固. 2 反变形法(长件,易变形件)

残余应力: 自然时效, 人工时效---低温退火 550—650℃

## 三 铸件的裂纹与防止

铸件内应力超过强度极限时,铸件便发生裂纹.

### 1 热裂纹: 高温下形成裂纹

特征: 裂纹短,缝宽,形状曲折.缝内呈氧化色,无金属光泽,裂缝沿晶粒边界通过,多发生在应力集中或凝固处. 灰铁,球铁热裂少,铸钢,铸铝,白口铁大.

原因: 1 凝固末期,合金呈完整骨架+液体,强,塑↓

2 含 S—热脆 3 退让性不好

预防: 设计结构合理, 改善退让性, 控制含 S 量

### 2 冷裂纹: 低温下裂纹

特征: 裂纹细,连续直线状或圆滑曲线,裂口表面干静,具有金属光泽,有时里轻微氧化色

原因: 复杂大工件受拉应力部位和应力集中处易发生; 材料塑性差; P—冷脆

预防: 合理设计,减少内应力,控制 P 含量, 提高退让性

## §4 铸件中的气体

常见缺陷, 废品 1/3. 气体在铸件中形成孔洞.

### 一 气孔对铸件质量的影响

- 1 破坏金属连续性
- 2 较少承载有效面积
- 3 气孔附近易引起应力集中,机械性能 $\downarrow \alpha_k \sigma_{-1} \downarrow$
- 4 弥散孔,气密性 $\downarrow$

## 二 分类(按气体来源)

- 1 侵入气孔: 砂型材料表面聚集的气体侵入金属液体中而形成.

气体来源: 造型材料中水分, 粘结剂, 各种附加物.

特征: 多位于表面附近, 尺寸较大, 呈椭圆形或梨形孔的内表面被氧化.

形成过程: 浇注---水汽(一部分由分型面, 通气孔排出, 另一部分在表面聚集呈高压中心点)---气压升高, 溶入金属---一部分从金属液中逸出---浇口, 其余在铸件内部, 形成气孔.

预防: 降低型砂(型芯砂)的发起量, 增加铸型排气能力.

- 2 析出气孔: 溶于金属液中的气体在冷凝过程中, 因气体溶解度下降而析出, 使铸件形成气孔.

原因: 金属熔化和浇注中与气体接触( $H_2$   $O_2$   $NO$   $CO$  等)

特征: 分布广, 气孔尺寸甚小, 影响气密性

- 3 反应气孔: 金属液与铸型材料, 型芯撑, 冷铁或溶渣之间, 因化学反应生成的气体而形成的气孔.

如: 冷铁有锈  $Fe_3O_4 + C \rightarrow Fe + CO\uparrow \therefore$  冷铁附近生成气孔

防止: 冷铁 型芯撑表面不得有锈蚀, 油污, 要干燥.

## §5 铸件质量控制

- 1 合理选定铸造合金和铸件结构.
- 2 合理制定铸件技术要求(允许缺陷, 具有规定)
- 3 模型质量检验(模型合格---铸件合格)
- 4 铸件质量检验(宏观, 仪器)
- 5 铸件热处理: 消除应力, 降低硬度, 提高切削性, 保证机械性能, 退火, 正火等

## 第二章 常用铸造合金

### §1 铸铁

铸铁通常占机器设备总重量的 50% 以上.(2.5~4.0%C)

#### 一 分类

- 1 按 C 在铸铁中存在形式不同, 可分三类:

1) 白口铸铁: C 微量溶于 F 外, 全部以  $Fe_3C$  形式存在, 断面银白, 硬, 脆, 难机械加工, 很少用于制造零件. 仅用于不冲击, 耐磨件. 如轧辊

主要用途: 炼钢原料. 也可处理成可锻铸铁.

2) 灰口铸铁: C 微量溶于铁素体外, 全部或大部以石墨形式存在, 断面灰色, 应用最广.

3) 麻口铸铁: 有石墨, 莱氏体, 属于白口铁和灰口铁之间的过渡组织, 断面黑白相间, 麻点. 硬, 脆, 难加工

2 根据石墨形态的不同, 灰口铁又分为:

- 1) 普通灰口铸铁: 石墨 片状
- 2) 可锻铸铁: 团絮状
- 3) 球墨铸铁: 球状
- 4) 蠕墨铸铁: 蠕虫状



### 3 按化学成分: 普通铸铁

合金铸铁:  $\text{Si} > 4\%$   $\text{Mn} > 2\%$  或一定量的  $\text{Ti}$   $\text{Mo}$   $\text{Cr}$   $\text{Cu}$  等

#### 二 灰口铸铁:

占铸铁产品的 80% 以上

##### 1 性能

显微组织: 金属基体(铁素体,珠光体)+片状石墨

相当于在钢的基体上嵌入大量的石墨片

1) 机械性能:  $\sigma_b$   $E \downarrow$  塑,韧---0. 脆性(crispy)材料

$\therefore$  石墨, 软 脆 强 $\downarrow$  比重小

1) 由于石墨的存在,减少了承载的有效面积.

2) 石墨片的边缘形成缺口,应力集中,局部开裂,形成脆性断裂,基本强度只利用 30~50%

$\therefore$  石墨越多,越粗大,分布越不均或呈方向性,则对基体的割裂越严重,机械性能越差.

\* 灰口铸铁的抗压强度受石墨的影响较小,与钢的抗压强度近似.

灰口铁的机械性能还与金属基体类别有关

(1) 珠光体灰口铁: 珠光体基体上分布细小,均匀的石墨.

$\therefore$  石墨对基体割裂较轻,故机械性能好. 如齿轮

(2) 珠光体—铁素体灰口铁:

$\therefore$  珠光体与铁素体混合基体上分布粗大石墨, $\therefore$  强 $\downarrow$

适于一般机件,铸造性,切削加工性,减振性,均由于前者.如齿轮箱

(3) 铁素体灰口铁

$\therefore$  铁素体基体分布多而粗大的石墨片

$\therefore$  强 硬 $\downarrow$  塑 ,韧性差(基体的作用远赶不上石墨对基体的割裂作用)

2) 工艺性能: 脆性材料 不能锻压; 可焊性差(易裂纹,焊区白口,难加工)

铸造性能好(缺陷少); 切削性能好(因石墨,崩碎切屑)

3) 减振性:  $\uparrow \therefore$  石墨有缓冲作用,阻止振动能量传播,适于机床床身等

4) 耐磨性:  $\uparrow \therefore$  1 石墨是润滑剂,脱落在磨擦面上.

2 灰口铁摩擦面上形成大量显微凹坑,能起储存润滑油的作用,是摩擦面上保持油膜连续.

$\therefore$  适于 导轨 衬套 活塞环等

5) 缺口敏感性:  $\downarrow \therefore$  石墨已在铁素体基体上形成大量的缺口.所以,外来缺口(键槽,刀痕)对灰口铁的疲劳强度影响甚微,提高了零件工作的可靠性

##### 2 影响铸铁组织和性能的因素

\* 铸铁中的碳 可能以化合状态( $\text{Fe}_3\text{C}$ )或自由状态(石墨)存在.

灰铁中, 一方面分析:

$\text{C}_{\text{化合}} = 0.8\%$  时,为珠光体灰铁,石墨片细小,分布均匀,强 硬度高,可制造较重要的零件.

$\text{C}_{\text{化合}} < 0.8\%$  时,珠光体+铁素体灰口铁 强度低,适于一般机件,其铸造性能,切削加工性和减振性均优于前者.

$\text{C}_{\text{化合}} = 0$  时铁素体灰口铁 强 硬低 塑 韧  $\downarrow$  很少用

另一方面分析:

铸铁的组织和性能与石墨化程度有关.

\* 影响石墨化的主要因素:

1) 化学成分:  $\text{C} \uparrow$  石墨化 $\uparrow$

$\text{Si} \uparrow$  石墨化 $\uparrow$  ( $\text{Si}$  与  $\text{Fe}$  结合力比与  $\text{C}$  强,能增大铁水和固态铸铁中碳原子的游离扩散能力)

$\therefore$  (1)  $\text{C}$ ,  $\text{Si}$  过高,形成铁素体灰铁,强 $\downarrow\downarrow$

过低,易形成硬脆的白口组织,并给熔化和铸造增加困难.

$\therefore$  合理含量: 2.5~4.0% $\text{C}$ , 1.0~3.0% $\text{Si}$



∴(2) S↑ 石墨化↓ FeS—热脆 易形成白口

∴ 一般 0.15% 以下.

(3) Mn↑ 石墨化↓ 合理含量: 0.5~1.4%

少量: Mn+S—MnS, Mn+ FeS—Fe+MnS, MnS 比重小, 进入溶渣. Mn 溶于 F, 提高基体强度.

过多: 阻止石墨化.

(4) P 促进石墨化, 但不明显, 多—冷脆 ∴ 合理量 0.3% 以下

2) 冷却速度: 冷却速度增加 阻碍石墨化 灰口—麻口—白口

### 3 灰口铁的孕育处理

为了提高灰口铁的强度, 硬度, 尽量使石墨片细化, 对其进行孕育处理. 即加入许多外来质点, 增加石墨结晶核心, 得到珠光体灰铁, 受冷却速度影响小

孕育铸铁(又叫变质铸铁), 适于较高强度, 高耐磨性, 气密性铸件

常用孕育剂: 含 Si 75% 的硅铁, 加入量为铁水的 0.25~0.6%. 冲入孕育剂. 与 Si 对石墨化影响一致

### 4 灰口铸铁的生产特点

1) 冲天炉熔炼: ∴ Si Mn 易氧化. ∴ 配料时增加含量. 为降低含 S 量, 选优质铁料和焦炭, 减少从焦炭中吸 S. 在熔炼高牌号铸铁时, 加废钢以控制含 C 量. (如孕育铸铁, 原铁水含 C, Si 低, 防止加入孕育剂后石墨粗)

2) 铸造性能优良, 便于铸出薄而复杂的铸件, (流动性好, 收缩↓)

3) 一般不需冒口, 冷铁, 使工艺简化.

4) 一般不用热处理, 或仅需时效.

### 5 牌号和用途

牌号: HT+三位数 HT—灰铁, 数—抗拉强度参考值 Mpa (N/mm<sup>2</sup>)

\* 选牌号时必须参考壁厚

| 类别    | 铸件壁厚 mm | 抗拉强度 Mpa | 硬度 HBS  | 类别    | 铸件壁厚 mm | 抗拉强度 Mpa | 硬度 HBS  |
|-------|---------|----------|---------|-------|---------|----------|---------|
| HT100 | 2.5~10  | 130      | 110~167 | HT150 | 2.5~10  | 175      | 136~205 |
|       | 10~20   | 100      | 93~140  |       | 10~20   | 145      | 119~179 |
|       | 20~30   | 90       | 87~131  |       | 20~30   | 130      | 110~167 |
|       | 30~50   | 80       | 82~122  |       | 30~50   | 120      | 105~157 |

此表中的铸件壁厚为铸件工作时主要负荷处的平均厚度.

### 三 可锻铸铁(又叫马铁)

白口铁晶石墨化退火而成的一种铸铁

∴ 石墨呈团絮状, 故抗拉强度↑ 且塑, 韧↑

1 牌号及应用: KTH(KTZ)+3 位数+2 位数

KTH—F 基体 黑心 KTZ—P 基体

3 位数—抗拉强度, 2 位数—延伸率 如 KTH300—06, KTZ450—06

应用: 形状复杂, 承受冲击载荷的薄壁小件(KTH), 曲轴, 连杆, 齿轮等(KTZ)

### 2 生产特点

生产过程: 白口铁—石墨化退火(920~980℃, 保温 10~20h)—团絮状石墨

∴ 必须采用 C, Si 含量低的铁水, 防石墨化. 通常 2.4~2.8% C, 0.4~1.4% Si

熔点比灰铁高, 凝固温度范围大, 流动性不好, 液固两相区宽, 砂型耐火性要求高. 周期长(40~70h), 成本高.

### 四 球墨铸铁

铁水中加入球化剂, 孕育剂

#### 1 球铁的组织 and 性能

组织: 铁素体球铁: 塑性, 韧性↑

铁素体+珠光体球铁: 两者之间

珠光体球铁: 强度, 硬度↑

牌号: QT+三位数 + 两位数 数字含义与可锻铸铁相同

性能: 强度 塑性韧性远远超过灰铁,由于可铁,  
铸造性,减振性,切削性,耐磨性等良好  
疲劳强度与中碳钢接近  
热处理性能好(退火,正火,调质等,淬火(等温淬火))  
应用: 受力复杂,负荷较大的重要零件

∴ 铸造工艺比铸钢简单,成本低,性能好,代许多铸钢,可锻铸铁件

## 2 生产特点

(1)铁水:  $C \uparrow (3.6 \sim 4.0\%)$  接近共晶成分,可改善铸造性能和球化结果

$S \uparrow (<=0.07\%)$  易与和球化剂合成硫化物,浪费球化剂

$P \downarrow (<=0.1\%)$  提高塑性,韧性

铁水出炉  $1400^{\circ}\text{C}$  以防球化后温度过低.

(2)球化处理和孕育处理

球化剂(稀土镁合金), 使石墨呈球状析出

孕育剂: (硅铁 75%Si)促使石墨化,防白口.使石墨细化,分布均匀

先用 2/3 铁水冲入球化剂,充分反应后,用 1/3 铁水冲入孕育剂,进行孕育.

处理后的铁水要及时浇注,保证球化效果.

(3)铸造工艺: 比灰铁易产生缩孔,缩松,夹渣等

a 热节上安冒口,冷铁—补缩

b 增加铸型刚度,防止铸件外形扩大—石墨膨胀

c  $S \downarrow$  残余镁量 $\downarrow$  降低型砂含水量—气孔 $\downarrow$ (侵入)

$\text{Mg} + \text{H}_2\text{O} = \text{MgO} + \text{H}_2 \uparrow$   $\text{MgS} + \text{H}_2\text{O} = \text{MgO} + \text{H}_2\text{S} \uparrow$

D 浇注系统应使铁水平稳流入,并有良好的挡渣效果

(4)热处理: 退火: 铁素体基体,塑 韧 $\uparrow$ QT420-10 以上

正火: 珠光体基体 强度 硬 $\uparrow$ QT600-2 以上.

## §2 铸钢

钢铁件也是一种重要的铸造合金,产量仅次于灰铁,约为可铁和球铁的和.

### 一 铸钢的类别和性能

二类: 铸造碳钢 应用广泛: ZG+两位数(含 C 万分之几)

铸造合金钢

性能: 强 塑 韧 可焊性 $\uparrow$

应用: 适于制造形状复杂的,强和韧性要求高的零件

铸—焊大件 火车轮 锻锤机架等

### 二 生产特点

1 熔炼: 电弧炉(多用),感应炉(合金钢中小件),平炉等

电弧炉:利用电极与金属炉料间电弧产生热量熔炼金属.

优点:钢液质量高,熔炼速度快(一炉 2~3h)温度容易控制,适于各类铸钢件

原料:废钢 生铁 铁合金等 造渣材料 氧化剂 增碳剂等

感应炉: 利用感应圈中交流电的感应作用,使金属炉料(钢液)产生感应电流,产生热量.

优点: 加热速度快,热量散失少.氧化轻.

### 2 铸造工艺:

∴ 钢浇注温度高,流动性差,易吸气,氧化.体积收缩约为铸铁的三倍,易产生缺陷(气孔缩松 变形 裂纹等)

∴ 型砂: 高耐火性 强 透气 退让性 $\uparrow$  加冒口,冷铁—消耗大量钢水

### 3 热处理

∴ 晶粒粗大.组织不均,内应力,强 塑 $\downarrow$



∴ 正火: 机械性能↑ 成本↓ 内应力↑

退火: 机械性能↓ 成本↑ 内应力↓ 形状复杂,易裂纹的铸件,或易硬化的钢退火为宜.

### §3 有色金属

#### 一 铜及铜合金

1 纯铜: 导电 导热↑ 塑↑(面心) 强 硬↓

2 黄铜:  $\text{Cu} + \text{Zn}$ —普通黄铜  $\text{Cu} + \text{Zn} + \text{Pb, Al, Si}$  等 特殊黄铜

可铸可锻

3 青铜: 除黄铜,白铜(铜镍合金)以外的,铜与其它元素组成.

锡青铜:  $\text{Sn} + \text{Cu}$  耐磨 耐蚀 铝青铜: 耐磨 耐蚀

#### 4 铸造工艺

1) 熔炼: 易氧化 吸气

①防氧化: 液面盖上溶剂(碎玻璃,苏打,鹏砂)

②脱氧: $\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Cu}_2\text{O}$ (氧化亚铜)塑↓加磷铜 脱氧 普通黄铜和铝青铜因有  $\text{Zn}$  能脱氧

③除气: 锡青铜: 吹  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2$  上浮带出  $\text{H}_2$ . 铝青铜: 吹  $\text{N}_2$  黄铜: 沸腾法  $\text{Zn}(907^\circ\text{C})$  蒸汽带出  $\text{H}_2$

④精炼除渣: 铝青铜液中有  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 加碱性溶剂(苏打,莹石等)精练,造出比重小,熔点低的溶渣. 熔炼用坩埚炉

2) 铸造: ①细砂铸型—光洁 减少切削量,粘砂

②浇注时勿断流—防氧化

③浇注系统使液流平稳流入—防飞溅

④加冒口—补缩(锡青铜出外)

#### 二 铝及铝合金

1 纯铝: 导电↑ 导热↑ 塑↑ 抗蚀↑( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) L1 L2.....L7 号大,越不纯

2 铝合金: 比重轻 熔点低 导电 导热 耐蚀↑

铸造铝合金分四类:

① 铝硅合金(硅铝明): 机械性能↑ 耐蚀性,铸造性↑ 适于形状复杂或气密性要求高的零件. 如 内燃机气缸

② 铝铜合金: 强,耐热↑ 比重大,铸造性↓(热裂纹↑疏松↑)

应用: 高强度,高温件 如活塞 牌号: ZL201

③ 铝镁合金: 强度↑ 耐蚀↑ 耐热↓ 铸造性↓

应用: 受冲击载荷 耐蚀件,形状简单

④ 铝锌合金: 强较高 抗蚀↓ 热裂纹↑

应用: 汽车 拖拉机发动机零件,日用品.

#### 3 铸造工艺

1) 熔炼: 除气( $\text{H}_2$ )除渣( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

常用方法,用钟罩压入六氯乙烷( $\text{C}_2\text{Cl}_6$ )

$3\text{C}_2\text{Cl}_6 + 2\text{Al} \rightarrow 2\text{AlCl}_3\uparrow + 3\text{C}_2\text{Cl}_4\uparrow$   $\text{AlCl}_3$  沸点  $183^\circ\text{C}$ ,  $\text{C}_2\text{Cl}_4$  沸点  $121^\circ\text{C}$  带出  $\text{H}_2$

或  $3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} = 3\text{Zn} + 2\text{AlCl}_3\uparrow$

防氧化: 加  $\text{KCl}$   $\text{NaCl}$  溶剂

2) 铸造: 与铜合金相同

### 第三章 砂型铸造

目前,铸件生产的主要方法,砂型铸件占铸件总量的 90%以上,可生产各种铸钢,灰铁,球铁,可锻铸铁,有色金属等.  
用于铸造各种机械零件

砂型铸造生产过程:

配砂→造型→烘干

制模 熔化 浇注→落砂→清理→检验

配砂→造芯→烘干

造型操作顺序:

1 安放铸模 2 套下箱,撒防粘材料 3 盖上面砂 4 铲填背砂 5 用尖头砂冲春砂 6 用平头砂冲春砂 7 刮去多余型砂 8 翻转下型 9 撒分型砂 10 吹去铸模上的分型砂 11 撒防粘材料 12 加面砂 13 填上型 14 扎通气孔 15 去上型 16 起模 17 挖浇口 18 合箱浇注.

## §1 型砂及型芯砂

### 一 型砂(芯)性能

- 1 强度:型砂在外力作用下,不易破坏的性能,强度不足,会造成塌箱,砂眼等
- 2 透气性:型砂之间本身有空隙,具有透气的的能力.透气性不好,易出现气孔.
- 3 耐火性:型砂在高温金属液的作用下而不软化,熔化.若耐火性不足,砂粒粘在铸件表面上形成一层硬皮,造成切削加工困难,粘砂严重,铸件报废.
- 4 退让性:型(芯)砂具有随铸件的冷却收缩而被压缩其体积的性能. 若退让性不足,铸件收缩受阻,内应力加大,甚至产生裂纹、变形等.加锯末、木屑,提高退让性.

### 二 型砂的分类、成分和应用

1 粘土砂:砂子,粘土,水,附加物(煤粉,木屑等).应用广泛:

- 1) 不受铸件大小,重量,尺寸,批量影响.
- 2) 铸钢,铸铁,铜,铝合金等均可铸.
- 3) 手工,机器造型均可.
- 4) 粘土来源广,价低.

粘土砂分两类: 湿型砂:中,小件.

干型砂:质量要求高的件,大件.

2 水玻璃砂:水玻璃(硅酸钠的水溶液)为粘结剂

优点:不需烘干,硬化速度快,生产周期短,强度高,易机械化.

缺点:易粘砂,出砂性差,回用性差.

3 油砂:植物油为粘结剂(桐油,亚麻油),油在烘烤时生成强度很高的氧化膜.

优点:干强度高,不易吸湿返潮,退让性,出砂性↑,不易粘砂,内腔光滑.

缺点:价格高

5 树脂砂:合成树脂作粘结剂.

优点:生产率高,不需烘干,强度高,型芯尺寸精确,表面光滑,退让性,出砂性好.

## §2 造型方法选择

造型是砂型铸造最基本的工序,造型方法选择的是否合理,对铸件质量和成本有着重要的影响.

### 一 各种手工造型方法的特点和应用

优点:操作灵活,适应性强,模型成本低,生产准备时间短.

缺点:铸件质量差,生产率低,劳动强度高.

应用:单件,小批.

1 按砂箱分:两箱:基本方法,各种批量,大小件

三箱:手工,单件,小批,两个分型面

地坑:小批,大,中件

脱箱:小件

劈箱:大件,如机床床身

2 按模型分: 整模:最大截面在一端,且为平面



分模:最大截面在中部

活块:有突出部位,难起模,单件,小批

控砂:分型面为非平面,要求整模,单件,小批

刮板:回转件,轮

假箱:成批,需控砂的件

假箱:造型前先做一个特制的假箱,来代替造型用的底板,然后做下型,由下型做上型.

假箱:(1)先假箱 (2)放模型 (3)砂托 (4)高至突点 (5)下型 (6)由下型做上型.

## 二 机器造型及其工艺特点

优点:生产率高,铸件尺寸精确,光洁度高,加工余量少,劳动强度小,大批量生产.

缺点:厂房,设备等要求高,投资大,批量生产才经济,只适于两箱(中箱无法紧实),不宜用活块.

### §3 浇注位置与分型面的选择

浇注位置---指金属浇注时铸件所处的空间位置

分型面---指砂箱间的接触表面

#### 一 浇注位置选择原则:

铸件浇注位置对铸件质量,造型方法等有很大影响,应注意以下原则:

##### 1 铸件重要的加工面应朝下:

- 1) 若做不到,可放侧面或倾斜
- 2) 若有几个加工面,则应把较大的放下面.

如导轨面是关键面,不允许有缺陷,则要放下面,伞齿轮

##### 2 铸件的大平面应朝下

原因:上表面出现缺陷,尤其易夹砂.

##### 3 面积大的薄壁部分放下面或侧面

有利于金属充填,防止浇不足

##### 4 易形成缩孔的铸件,厚的部分放在铸型上部或侧面,便于安置冒口,以补缩.

## 二 铸型分型面的选择原则

分型面选择的合理可以简化造型操作,提高劳动生产率.

#### 1 便于起模,故分型面应选择在铸件最大截面处

(手工造型时,局部阻碍起模的凸起可做活块)

- 2 应尽量减少分型面和活块数量(中小件)
- 3 应尽量使铸件的重要加工面或大部分加工面和加工基准面位于同一砂型中
- 4 尽量采用平直分型面,以简化操作及模型制造
- 5 尽量减少型芯和便于下芯,合型及检验位置

### §4 工艺参数的选择

#### 一 机加余量和铸孔

##### 1 金属种类: 灰口铸铁:表面平整,加工余量少.

铸 钢:浇注强度高,表面不平,加工余量大.

有色金属:表面光洁.

##### 2 生产条件:大批量生产:机器造型,加工余量少.

小批量生产:手工造型,加工余量大.

3.尺寸位置: 尺寸大:变形大,加工余量大.

铸件顶面与底面,侧面比,表面质量差,余量大.

孔: 铸铁  $d < 30\text{mm}$ , 铸钢  $d < 60\text{mm}$ , 一般不铸, 因铸出造型工艺复杂, 质量不易保证, 反而给机加带来困难.

## 二 拔模斜度:

为起模方便,把垂直壁做成斜的.

与立壁高度,造型方法,模型材料等有关,一般  $15' \sim 3^\circ$

机器造型比手工斜度小

木模比金属模斜度大

立壁高斜度小

## 三 收缩率:

收缩量 = 铸件尺寸  $\times$  铸造收缩率

灰铁: 0.7—1.0%    铸钢: 1.3—2.0%    锡青铜: 1.2—1.4%

因收缩是非自由的,所以受铸件形状,尺寸的影响.

## 四 型芯固定(一般靠型芯头)

型芯头的形状和尺寸对于型芯的装配工艺性和稳定性有很大影响.

(1)垂直芯头---上芯头斜度大,高度小些,便于和箱,若垂直型芯粗,短,上芯头可省略.

下芯头斜度小,高度大些,稳定.

对于只能做上芯头的型芯,做成吊芯或盖板型芯.

(2)水平芯头---芯头较长,芯头也有斜度,便于下芯合箱,悬壁型芯头必须长而大,以支持型芯,防下垂,或被金属液抬起.

## §5 冒口与冷铁的应用

一 冒口应用: 主要作用---补缩,同时能排气,集渣.

### 1 冒口设置原则:

(1) 保证顺序凝固,放在最后凝固部分 ---基本作用

(2) 尽量放在铸件最高处,有利补缩,熔渣易浮出.

(3) 冒口最好放在内浇口附近,使金属液通过冒口再进入铸型,提高补缩效果.

(4) 尽量避开易拉裂部位;不影响自由收缩.

(5) 尽量放在需加工部位,便于清理.

2 冒口大小,依合金收缩性质及具体铸件凝固条件查手册.

### 二 冷铁应用:

#### 1 分类:

非冷铁:只和铸件外表面接触而起激冷作用,与型砂一起清出,不重复使用.

内冷铁:浇注后冷铁被金属液包围与铸件熔合在一起.有气密性要求的部分不能用.

#### 2 作用:

(1) 减少冒口数量: 改善凝固顺序,有利外缩.

(2) 可减少冒口尺寸: 加内冷铁,加快铸件冷却.

(3) 消除局部热节处的缩孔和缩松: 加外冷铁.

(4) 防止铸件产生裂纹: 同时凝固,如两壁交接处放冷铁,以消除热节.

(5) 提高铸件硬度和耐磨性: 利用外冷铁加快冷却,细化组织,提高硬度.

## 第四章 特种铸造

### §1 金属型铸造

将液态合金浇入金属铸型,得到铸件.

一 金属型: 垂直式,水平式,复合式



垂直式: 易取件,没浇注系统多用.

材 料: 灰铁,要求高 铸钢

内 腔: 金属型芯,砂芯. 有抽芯机构

二 铸造工艺: 金属型导热快,没有退让性,透气性.

1 金属型应保持一定的工作温度.

具有良好的充型条件和一定的激冷作用.

1) 喷刷涂料前预热.

保证涂料层致密,均匀. 合金铸铁 80—150℃; 铸钢 100—250℃.

2) 浇注前预热

降冷却速度,防白口.

2 喷刷涂料

1) 减缓冷却速度,防白口 2) 防高温液体对铸型直接冲刷

3) 有一定蒸汽,排气能力,防气孔.

铸 铁—石墨粉涂料,炭墨涂料; 铝合金—氧化锌涂料,滑石粉

3 合理浇注温度:

∵导热快, $t_{\text{浇}}$  比砂型高 20~35℃

4 适宜出型时间

收缩快—出型难 冷速大—白口

三特点

1 多次浇注,节工时,型砂,提高生产率 2 改善劳动条件

3 铸件光洁度高 4 组织致密,机械性能高

5 成本高,周期长,工艺要求严,易出现白口,多用于生产有色金属

### §2 压力铸造

高压下(5~500MPa)快速(0.001~0.2)将液态或半液态合金压入金属铸型中,并在压力下结晶.

专用设备:压铸机 专用压型—压型

一工艺过程 见书中 P42

二特点 1 精度,表面质量↑ 最小铸孔直径 0.7mm

2 可压除形状复杂的薄壁件.(高压 冲型↑)

3 铸件强,硬↑(压力下结晶致密)

4 生产率↑ 易自动化

5 投资大,适于批量

6 种类受限,不宜压铸高熔点合金

7 压速高,易形成气孔

8 不宜热处理

应用:汽车 仪表行业,广泛应用.

### §3 熔模铸造

溶膜铸造是用易熔材料制成模型,然后在模型上涂挂耐火材料,经硬化后,在将模型熔化排出型外,从而获得无分型面的铸型,铸型焙烧后即浇注

一工艺过程

1 蜡模制作

1) 压型:制蜡模的专用模具,钢 铜 铝 切削而成

2) 蜡模的压制:石蜡,蜂蜡,硬脂酸,松香等,将熔化的蜡料压入压型中,冷凝后取出,修去毛刺,得到蜡模

3) 蜡模组装:若干蜡模焊在一个直浇棒上.

2 结壳:蜡模涂上涂料,硬化 干燥等

1) 浸涂料(石英粉+粘结剂的糊状物)表面光洁

2) 撒砂(粗石英砂)的目的:增厚型壳

3) 硬化(水玻璃+ $\text{NH}_4\text{Cl}$ — $\text{SiO}_2$ )化学硬化

3 脱蜡 焙烧

1) 脱蜡:热水或水蒸气

2) 焙烧:加热  $800\sim 1000^\circ\text{C}$  提高型壳强度

4 填砂:浇注

1) 填砂:型壳放入铁箱中,周围干砂充填

2) 浇注:趁热( $600\sim 700^\circ\text{C}$ )进行浇注

5 落砂 清理 冷却后,破坏型壳,取出铸件,去浇口,毛刺,退火或正火,以便得到所需机械性能.

#### 二特点和应用

1 铸造精度,光洁度高,且可浇注形状复杂的件

2 能铸造各种合金(型壳是高级耐火材料)

3 单件,小批,大批量生产均可

4 少 无切削加工( $\text{Ra}3.2\sim 1.6\mu\text{m}$ )稍磨

5 材料贵,工艺过程繁杂,生产周期长.

应用: 使用高熔点合金精密铸件的成批,大量生产,形状复杂,难以切削加工的小零件. 如:汽轮机叶片,工艺品

#### §4 离心铸造

将液态金属浇入高速旋转( $250\sim 1500\text{r/min}$ )的铸型中,使金属液在离心力作用下充填铸型并结晶.

##### 一基本方式

1 立式:圆筒件 自动形成内腔,壁厚不均用高度小的件.

2 卧式:壁厚均匀,适于长筒,可双金属浇注.

##### 二特点应用

#### 第三部分 金属压力加工

##### 概述

##### 一 什么是压力加工

靠外力使金属材料产生塑性变形而得到预定形状与性能的制件(毛坯或零件)的加工方法。

外力—— 冲击力: 锤类      静压力: 压力机

各类钢和大多数有色金属及其合金都具有一定的塑性, 因此, 都能在热态或冷态下进行压力加工。

应用广泛: 运输工具 96%;    汽车拖拉机 95%;

航天、航空 90%;    农用机械工业 80%。

##### 二 分类

1 轧制: 金属坯料在两个回转轧辊的缝隙中受压变形以获得各种产品的加工方法。靠摩擦力, 坯料连续通过轧辊间隙而受压变形。

主要产品: 型材、圆钢、方钢、角钢、铁轨等。

2 挤压: 金属坯料在挤压模内受压被挤出模孔而变形的加工方法。

正挤: 金属流动方向与凹模运动方向相同。

反挤: 金属流动方向与凹模运动方向相反。

3 拉拔: 将金属坯料拉过拉拔模的模孔而变形的加工方法。

产品尺寸精度、表面光洁度较高, 所以, 常用于轧制件的再加工, 提高产品质量。

坯料: 低碳钢、有色金属及合金。

外力: 拉力。

4 自由锻: 金属坯料在上、下抵铁间受冲击力或压力而变形。

外力: 压力。



5 模锻：金属坯料在具有一定形状的模膛内受冲击力或压力而变形的加工方法。

6 冲压：金属板料在冲模之间受压产生分离或成形。

1—5 立体变形（三维）； 6 平面变形（二维）；

1—6 可冲击力、可静压力。

三 特点：（与铸造比）

- 1 优点：（1）结构致密、组织改善、性能提高、强、硬、韧↑  
（2）少无切削加工，材料利用率高。  
（3）可以获得合理的流线分布（金属塑变是固体体积转移过程）。  
（4）生产效率高。（如：曲轴、螺钉）
- 2 缺点：（1）一般工艺表面质量差（氧化）。  
（2）不能成型形状复杂件（相对）  
（3）设备庞大、价格昂贵。  
（4）劳动条件差（强度↑、噪音↑）

## 第一章 金属塑性变形

### §1 金属塑性变形的实质

一 晶体：

- 1 晶体：物质中的原子按一定规律在三维空间周期重复排列。
- 2 单晶体：具有一个晶粒的晶体（由一个晶核生长而成的晶体）。
- 3 多晶体：大量晶粒组成的晶体。

二 变形：

1 弹性变形：（暂时的变形） $\sigma < \sigma_e$  力未去除。

弹性塑性变形：（暂时变形） $\sigma < \sigma_s$  力未去除。

纯塑性变形：永久变形 外力去除。

2 变形机制：

单晶体塑性变形：滑移。

多晶体塑性变形：滑移+晶粒转动。

三 滑移：

1 单晶体：

在切应力作用下，晶体的一部分与另一部分沿着一定的晶面产生相对滑动，叫滑移。这个晶面——滑移面。

※ 与滑移面垂直的应力不引起滑移，只会弹性变形，大到一定程度引起脆断。

（上面所描述的滑移运动，相当于两部分晶体彼此进行的刚体性运动，是由外力作用下发生的，而且所需力较大，但使测力却小得多。近代塑性理论研究认为滑移变形是由于位错的滑移运动引起的。）

理想晶体结构：锌单晶理论计算： $\sigma_s = 350 \text{ kg/mm}^2$

实测  $\sigma_s = 0.1 \text{ kg/mm}^2$

晶体内部存在缺陷：

点缺陷：缺一个原子。

线缺陷：缺一行原子、一位错。

面缺陷：

滑移逐步在滑移面上传布，直至晶体表面。

2 多晶体

塑性变形先在晶面方向有利于滑移的晶粒内开始，然后不利于滑移的晶粒向有利变形的方向转动，协调变形，使滑移继续进行。

### §2 塑性变形后金属的组织 and 性能

一、 组织：

- 1、晶粒沿变形最大的方向伸畅。
- 2、晶格晶粒均发生扭曲，产生内应力。
- 3、晶粒间产生碎晶。

## 二、性能：

强度，硬度↑。塑性，韧性↓

原因：（微观）碎晶，晶格扭曲，增大滑移阻力。

## 三、加工硬化

塑变程度增大，金属强度，硬度升高；塑性，韧性下降的现象。

- 1、有利：强化金属，形变强化

有害：变形抗力↑，继续压力加工困难，对模具不利，设备吨位↑

加工硬化的结果使金属的晶体构造处于不稳定的应力状态，具有自发恢复稳定状态的趋势（室温不行）

- 2、消除方法：加热 回复 再结晶

1) 回复：金属冷变形后，加热到一定温度，原子恢复正常排列，消除了晶格扭曲。加工硬化部分消除，原子获得能量。震动加剧，回复正常排列。

$$T_{\text{回}} = (0.25 \sim 0.3) T_{\text{熔}} \quad (\text{室温} + 273)$$

$T_{\text{回}}$ 、 $T_{\text{熔}}$  分别为金属回复、熔化的绝对温度。

2) 再结晶：温度再增加，金属原子获得更多能量，则以碎晶和杂质位核结晶成新的晶粒。

实质：无畸变组织代替畸变组织，完全消除加工硬化。

$$T_{\text{再}} = 0.4 T_{\text{熔}}$$

$T_{\text{再}}$ —金属绝对再结晶温度。

再结晶退火—加热—再结晶—金属再次获得良好塑性

高温下受力塑性变形—硬化与再结晶同时存在

## 四、冷变形、热变形

冷变形— $T_{\text{再}}$  以下发生的变形。

热变形— $T_{\text{再}}$  以上发生的变形。

\* 1、冷变形后具有加工硬化组织，能获得较高的表面光洁度及硬度，但变形程度不宜过大，避免破裂。

2、热变形可得到再结晶组织，变形程度大，无加工硬化，获得良好的机械性的组织。

冷变形后的件若继续加工，要再结晶退火。

∴ 金属压力加工主要采用热变形来进行。

## 五、锻造和纤维组织

### 1、锻造

1 镦粗：横截面积变大： $Y_{\text{锻}} = F/F_0 = H_0/H > 1$

2 拔长：横截面积变小： $Y_{\text{锻}} = F_0/F > 1$

$F_0$ —变形前横截面积， $F$ —变形后横截面积

$Y < 2$  组织细化，性能↑

$Y = 2 \sim 5$  方向性↑

$Y > 5$  组织紧密程度，晶粒细化，均达极限。性能方向性↑↑

出现性能方向性的组织已是纤维组织。

### 2、纤维组织：

金属发生塑性变形时，金属的晶粒形状和沿晶界分布的杂质形状都发生变化，它们将沿着变形方向被拉长，呈纤维形状。这种结构较纤维组织。

- 1) 影响：使金属材料的机械性能出现方向性

平行纤维方向：塑、韧性↑

垂直纤维方向：塑、韧性↓



2) 利用：因流线稳定性很高，不能用热处理方法消除，只有经过锻压使金属变形，才能改变方向和形状。因此，位提高零件机械性能，尽量做到：

- a) 使纤维方向于零件的轮廓相符合，而不被切断。
- b) 使零件受  $\sigma_{\max}$  拉应力与纤维方向一致。 $\tau_{\max}$  与纤维垂直。

### §3 金属的可锻性

可锻性：是衡量材料在经受压力加工时获得量件难度程度的一个工艺性能。

在力作用下稳定改变自己形态或尺寸，而其各质点间联系不破换的能力。

包括方面：1 塑性 $\uparrow$ ：变形时金属不易开裂。 $\delta$ 、 $\psi$ 、 $\alpha_k$  $\uparrow$

$\downarrow$  2 变形抗力 $\downarrow$ ：省力，不易磨损模具，小设备，消耗能量小。

一、 金属本质的影响：

- 1 化学成分：1) 纯金属可锻性良好（合金晶格畸变） $F_c > F$
- 2) 含有形成碳化物的元素，则可锻性 $\downarrow$ 。

如：W、Ti。 WC 使硬质合金硬、脆。

- 2、金属组织影响：1) 固溶体（如 A）比碳化物（ $Fe_3C$ ）好。

3) 晶粒细、均匀、可锻性 $\uparrow$ 。

- 3、晶体结构：面心立方 $>$ 体心立方 $>$ 密排六方。

二 加工条件：

- 1 变形温度： $t \uparrow$  变形抗力 $\downarrow$  塑性 $\uparrow$   $T$  再以上，塑性 $\uparrow\uparrow$

如：碳钢在  $A_3$  线上，组织为 A、面心、塑性 $\uparrow$

※  $t$  过高，易产生“过热”、“过烧”、“脱碳”、“严重氧化”。

始锻温度： $AE$  线下  $200^\circ C$  左右。

终锻温度： $800^\circ C$  ( $T_{再}$  以上)

- 2 变形速度：单位时间内的变形程度。

$V < C$ ： $\because V_{固}、V_{再}$  来不及完全消除加工硬化。

$V > C$ ：热效应，明显提高变形温度，但只在高速锤上才能有热效应。

高速锤：12—25m/s， 普通锤：5—9m/s。

3 应力状态：

压应力下变形，对塑性有利，阻止裂纹扩展，焊合（孔、缝）

拉应力下变形，对塑性不利，气孔、裂纹等缺陷处易引起应力集中，缺陷扩展，导致破裂。

1—9 塑性逐渐下降

※ 三向不等压应力会使大理石塑性变形，挤压比拉拔时塑性好，三向压应力不等，才能塑变，否则弹变。压应力会加大金属内摩擦，使变形抗力增加，故本质塑性较高的变形时出现拉应力，可减少变形抗力，对本质塑性较差的，应尽量在压应力下进行，以防止裂纹产生。

作业：

- 1 碳钢在锻造温度范围内变形时，是否会有加工硬化？
- 2 铅在  $20^\circ C$ 、钨在  $1100^\circ C$  时变形，各属那种变形？为什么？（钨的熔点  $3380^\circ C$ ）
- 3 纤维组织是怎样形成的？它的存在有何利弊？
- 4 如何提高金属的塑性？最常用的措施是什么？
- 5 “趁热打铁”的含意？
- 6 三向压应力相等,能否产生塑性变形？

## 第二章 自由锻

自由锻造：利用冲击力或压力使金属在上、下两抵铁之间产生变形，得到所需的形状和尺寸的锻件，金属在受力变形时，在抵铁间向各个方向自由流动，不受限，形状、尺寸由锻工控制。

一 特点：1 工具简单、通用性强。（成型部分）

2 应用广泛，几克——几百吨，机械性能高。

3 锻件尺寸精度差，材料利用率低。

4 只能用于形状简单的锻件。

5 劳动强度大（尤其手工）。

二 分类：1 手工锻：砧子，大、小锤，炉子等，小型件。

2 机器锻：空气缸、蒸汽—空气缸，冲击力

液压机、吨位 静压力

### §1 几个主要工序

一 镦粗：截面增加、高度减小的工序。

应用：1) 小截面变成大截面，高度减小件。

2) 冲孔前，平整端面。

3) 提高机械性能（细化组织、破坏碳化物）（与拔长配合）

※  $H/D=0.8—2$  一般毛坯

$H/D=2—3$  双鼓形

$H/D>3$  失稳

$H/D<0.8$  变形小、变形力大。

二 拔长：毛坯横截面减小，长度增加。

应用：1) 减小截面，增加长度。

2) 提高机械性能（与镦粗反复进行）

※ 1 拔长时不断翻转。

2 送进量：合适： $L/h=0.5—1$

$L/h>1$  展宽过大，拔长效率↓

$L/h<0.5$  折叠 与双鼓形类似。

三 冲孔：透孔、不透孔（盲孔）

开式冲孔

闭式冲孔—反挤压

※ 1 开式冲孔，先镦平端面

2 冲通孔时：薄件—面冲通： $H/D<0.125$  实心单面冲孔

厚件双面冲：一面冲  $2/3\delta$

反面冲通。

为拔冲头方便，冲孔时洒煤粉。

四 弯曲：毛坯弯成一定角度。

外侧受拉

内侧受压

内侧起皱

※ 弯曲角度不可太大，过大 外侧拉裂

### §2 自由锻件的结构工艺性

原则：满足使用性能要求，符合自由锻工艺要求，节约金属，保证质量，提高生产率。

一 尽量避免锥体或斜面（因必用专用工具，成型困难）

二 锻件由几个简单几何体构成时，交接处不应形成空间曲线。

三 锻件不应设计出凸台、筋板。

四 椭圆形、工字形等避免。

五 截面变化不宜太大。 锻造比太大

六 外表面复杂的锻件不应设计

分别锻造、焊接或机械联接。



### §3 自由锻造工艺规程的制定

内容：由零件图→绘制锻件图→计算坯料质量和尺寸→选择锻造工序→设备和吨位→加热规范→规定技术要求→检验要求→编制劳动组织和工时。

#### 一 绘制锻造图：根据零件图绘制

- 1 敷料：为简化锻件形状而增添的金属（也叫余块）。
- 2 加工余量：自由锻件精度、尺寸、表面质量较差。  
需切削加工，所以，留余量。
- 3 锻造公差：锻件实际尺寸和名义尺寸之间所允许的最大偏差。  
零件图用双点划线，锻件实线，  
零件尺寸加括号，公差查手册。

#### 二 计算坯料质量和尺寸

- 1 锻件的坯料质量  $G_{\text{坯料}} = G_{\text{锻}} + G_{\text{烧}} + G_{\text{料头}}$   
 $G_{\text{烧损}} = G_{\text{锻}} \times (2-3)\%$  （首次）  
 $G_{\text{锻}} \times (1.5-2)\%$  （二次以后）  
 $G_{\text{料头}} = G_{\text{锻}} \times (2-4)\%$  （钢材）
- 2 尺寸：与第一道工序的变形性质有关。  
镦粗：毛坯  $1.25 < H/D < 2.5$   
拔长：钢锭坯料： $y \geq 2.5-3$   
轧制钢料： $y = 1.3-1.5$

坯料截面积=锻件最大部分截面 $\times y$

#### 三 选择锻造工序：

包括基本工序、辅助工序及修整工序。  
根据锻件技术要求，坯料情况，生产批量等确定。  
一般：盘类：镦粗、（或拔长、镦粗）冲孔。  
轴类：拔长（拔+镦粗）、压肩。  
筒类：镦粗（镦+拔）、冲孔、在心轴上拔长。  
环类：镦粗（拔+镦）、冲孔。

#### 四 选择锻造设备

镦粗： $G = (0.002-0.003) kF$  (kg)  
 $k$  为系数，与  $\sigma_b$  有关， $F$  为锻件镦粗后与工具接触面水平投影.(mm<sup>2</sup>)  
拔长： $G = 2.5F$  (kg)  
 $F$ —坯料横截面面积 (cm<sup>2</sup>)

#### 五 加热

新书 P72 表 3—4

#### 六 锻后冷却及热处理

空冷 坑冷 炉冷  
退火 正火（+高温回火）  
工具钢：正火或球化退火  
中碳钢、合金钢：一般调质。（对于不进行最终热处理）  
作业：在如图两种砧铁上拔长时，效果有何不同？

### 第三章 模锻

模锻：金属坯料在模具中成型，得到与模膛形状相符的锻件。

#### 一 特点

优点：1 操作技术要求不高，生产率高。

- 2 尺寸精确，加工余量小。
- 3 形状较复杂。
- 4 节省材料，减少切削量，降低成本（批量）。

缺点：1 受设备吨位限制，质量不能太大（150kg 以下）

- 2 锻模成本高，不宜于小批、单件生产。
- 3 劳动强度较低。

## 二 设备：锤和压力机

| 区别 | 自由锻锤         | 模锻锤          |
|----|--------------|--------------|
| 框架 | 不封闭          | 封闭           |
| 间隙 | 较大           | 较小           |
| 砧座 | 较轻 10—20 倍吨位 | 较重 20—25 倍吨位 |

模锻件质量除由模具控制外，模锻设备也是主要因素之一。

### §1 锤上模锻

#### 一 工艺规程制定：

- (1) 根据锻件类型及具体生产条件确定合理工艺方案。
- (2) 由零件图及工艺方案→锻件图。
- (3) 确定工步，进行模膛设计和工步设计。
- (4) 计算毛坯质量、尺寸、确定设备吨位。
- (5) 设计锻模
- (6) 确定切边、冲孔工序并设计相应模具。
- (7) 加热、冷却、热处理规范。
- (8) 确定校正、清理工艺及设备

#### 1 确定工艺方案：

- 1) 长轴类锻件  
拔长—滚压—预锻—终锻 同一模具上设置
- 2) 短轴类（盘类）件  
镦粗—终锻 镦粗—预锻—终锻

#### 2 制定锻件图

- 1) 选分模面：（关系到出模、成型、材料利用率等）

原则：a、 保证锻件能完整地分模面中取出

b、 使模膛浅而宽，便于加工、利于金属流动

c、 应使上、下模膛沿分模面的轮廓一致，便于检查上、下模错移 d、 分模面应使锻件上敷料最少

e、 分模面尽量选平面

f、 有流线要求时，依受载情况确定

#### 2) 确定余量、公差、敷料

机械加工余量：一般 1—4mm， 比自由锻小的多。

公差： 一般  $\pm 0.3—3\text{mm}$

- a、 模膛公差
- b、 防止上、下模没闭合，金属没充满模膛
- c、 上、下模错移
- d、 模膛磨损、变形等

敷料：为简化形状， $d < 25—30\text{mm}$ ，孔不锻出

#### 3) 确定模锻斜度

锻件上平行于锤击方向必有斜度，以利于取件，且锻件冷却收缩，锻模回弹。



斜度大小与锻件形状尺寸、材料性质（摩擦系数）、锻造方法（如平锻有顶出装置，斜度小）等有关。

一般钢件外模锻斜度  $\alpha=5—15^\circ$

内斜度比外斜度大  $2—3^\circ$ ，因为内壁冷缩，夹紧工件。

4) 确定圆角半径：锻件两平面交接处均要做成圆角。

a、金属易于充满模膛

b、模凹角处易应力集中、裂纹

c、凸尖角处有圆角磨损减轻，提高模具寿命

d、避免拉断流线

e、冲孔连皮

$d>25$  冲孔，连皮厚度与孔径  $d$  有关，

$d=30—80\text{mm}$  时， $s=4—8\text{mm}$

### 3 确定模锻工步

与确定的工艺方案一致

模膛—制坯模膛—拔长、滚压、弯曲、切断

模锻模膛—预锻模膛和终锻模膛

1) 制坯模膛

作用：(1) 使坯料形状和尺寸接近锻件（为预锻和终锻做准备）

(2) 清除坯料表面的金属氧化皮

a、拔长模膛：减少某部分横截面，以增加其长度，

闭式、开式，一般设在锻模边缘，需翻转。

b、滚压模膛：减少某部分横截面，以增加另一部分横截面，

使金属按锻件形状分布。

开式：横截面相差不大 —— 操作时不需翻转

闭式：最大、最小横截面相差大

c、弯曲模膛：需弯曲的杆类件，用弯曲模膛来弯曲坯料，转  $90^\circ$  放入模膛 成型。

d、切断模膛：它是在上、下模的角组成的一对刀口，单件时用来切下锻件或切下钳口；多件时，用它分离单件。

除上述模膛外，还有镦粗、压扁等制坯模膛。

2) 模锻模膛

(1) 预锻模膛

1) 使坯料变形到接近于锻件的形状、尺寸，使金属易于充满终锻模膛。

2) 减少对终锻模膛的磨损，提高锻模寿命。

$\Delta$  与终锻模膛区别：斜度和圆角大，没有飞边槽。

$\Delta$  形状简单、小批量、可不用锻模。

(2) 终锻模膛：使坯料变形成锻件图上要求的形状、尺寸和精度。

※ (a) 因热胀冷缩，终锻模膛尺寸要比锻件尺寸放大一个收缩量。

(b) 模膛四周有飞边槽—增加金属从模膛中流出阻力，容纳多余的金属。

(c) 对于有通孔件，留有冲孔连皮。

### 4 计算毛坯质量和尺寸，确定设备吨位

$G_{\text{坯}}=G_{\text{锻}}+G_{\text{飞}}+G_{\text{氧}}+G_{\text{连皮}}$

$G_{\text{飞}}=G_{\text{锻}}\times(15—25)\%$

$G_{\text{氧}}=(G_{\text{锻}}+G_{\text{飞}})\times(3—4)\%$

尺寸：盘类件：镦粗为主  $1.25<H_{\text{坯}}/D_{\text{坯}}<2.5$

长轴类：以拔长为主  $L_{\text{坯}}=(1.05—1.30)V_{\text{坯}}/F_{\text{坯}}$   
 $= (1.34—1.66)V_{\text{坯}}/D_{\text{坯}}^2$

吨位： $G=p$  (kN)  $p=k_1k_2\sigma_sF/1000$  (kN)

$k_1$ —变形速度系数 2.5—3.5  $k_2$ —变形系数与摩擦条件系数

$F$ —包含飞边在内的锻件最大截面

5 锻模设计 模块尺寸、燕尾、起重孔等

6 切边、冲孔模具设计

7 确定加热、冷却和热处理规范

加热：火焰加热、电加热 加热速度依坯料尺寸、成分、组织、性能等制定。

冷却：依具体坯料情况确定。

热处理：改善组织、性能、消除内应力，退火、正火、调质、高温回火等。

8 确定校正、清理

校正变形：终锻模膛、校正模

清理：去毛刺、氧化皮、切边、冲孔。

精压：压力机上，平面精压、体积精压、提高精度

精度可达： $\pm 0.1—0.25\text{mm}$

粗糙度： $R_a=1.6—0.8\mu\text{m}$

## 二 模锻零件结构工艺性

设计模锻件时，应根据模锻特点和工艺要求，使零件结构符合下列原则，以便于模锻生产和降低成本。

1 必须具有合理的分模面（锻件易取出，敷料少，锻模易做）。

2 模锻斜度、圆角

3 非加工面尺寸精度要符合模锻生产工艺，加工面留余量。

4 锻件形状尽量简单对称，各截面差不可太大。

5 尽量避免深孔、多孔。（简化模具制造、提高寿命）

6 若形状复杂，用锻焊结构，减少敷料。

## §2 胎模锻

胎模锻是在自由锻设备上使用胎模生产模锻件的工艺方法。

### 一 特点：1 与自由锻对比

1) 锻件形状、尺寸与锻工技术无关，操作简单  $\eta \uparrow$

2) 精度高，敷料少，加工余量，节省金属，减轻后续加工的工作量。

3) 内部组织、纤维分布更合理。

### 2 与模锻比

1) 扩大自由锻设备生产范围，设备简单

2) 局部成型，小设备干大活

3) 模局不固定，成本低，可一个以上分模面，件可复杂

4) 锻件质量比模锻差（形状、尺寸精度、余量）

整形模：

成型模：导柱、定位、切边、冲孔。

## §3 其它设备上的模锻

作业：

1 改正模锻件不合理处。

2 下图零件采用锤上模锻制造，选最佳分模面。

1 圆角、拔模斜度、分模面、冲孔连皮。

2 了解分模面选择原则

## 第四章 板料冲压

板料冲压：利用冲模使板料产生分离或成型的加工方法。



一般冷态下成型,  $\delta > 8\text{—}10\text{mm}$  时, 热态成型

应用: 广泛, 航天、航空、汽车、仪表

特点: 1 可冲压出成型复杂的件, 废料少。

2 产品具有足够高的精度和较低的表面粗糙度, 互换性好。

3 质量轻, 材料消耗少, 强、刚度高。

4 操作简单, 便于自动化, 生产率高。

5 模具复杂, 适于大批量生产。

原材料塑性高: 低 C 钢、铝合金、铜合金、镁合金、塑性高的合金钢。

剪床—剪料 冲床—冲压

### §1 分离工序

分离工序是使坯料的一部分与另一部分相互分离的工序

#### 一 落料及冲孔(冲裁)

坯料按封闭轮廓分离

落料—被分离的部分为成品, 而周边为废料

冲孔—被分离的部分为废料, 而周边是成品

##### 1 冲裁变形过程:

1) 弹性变形阶段: 冲头接触后, 继续向下运动, 产生: 弹性压缩、拉伸、弯曲等。

2) 塑性变形阶段:  $\sigma \geq \sigma_s$  产生塑变  $\rightarrow$  (冷态) 加工硬化,  $\sigma \geq \sigma_b$  微裂纹

3) 断裂分离阶段: 冲头继续压入, 裂纹上、下扩展, 重合。

断面 光亮带—上、下塑性变形, 冲头压入形成

剪切带—剪切分离 (断裂带)

圆角带—变形开始弯曲, 拉伸所至。

##### 2 凸凹模间隙:

间隙大小影响断面质量、模具寿命、卸料力、推件力、冲裁力和冲裁件的尺寸精度。

间隙大: 1) 材料拉应力大, 塑性变形阶段结束早

2) 亮带小, 剪裂带、毛刺大

3) 卸料力和推件力小

间隙小: 1) 压应力大、拉应力小, 抑制裂纹

2) 凸模刃口裂纹比正常向外, 毛刺增大

3) 凸模与冲孔、凹模与落料之间摩擦增大

4) 降低模具寿命

总之: 冲裁件断面质量要求较高时, 选较小间隙

冲裁件断面质量无严格要求时, 选较大间隙

一般  $(5\text{—}10\%) S$  以利于提高冲模寿命

##### 3 凸凹模刃口尺寸确定:

冲孔模: 1) 以冲孔件确定凸模尺寸, 考虑磨损, 凸模选孔的最大尺寸 (公差允许内)

2) 以凸模为基准, 加上间隙, 设计凹模

落料模: a) 以落料件确定凹模刃口尺寸, 考虑凹模磨损, 凹模刃口尺寸取公差范围最小值。

b) 以凹模尺寸为基准, 减去间隙, 设计冲模

##### 4 冲裁力的计算

选冲床吨位, 检验模具强度的依据,

平刃冲模的冲裁力:  $P = KLS\tau$  (N)

L—冲裁周边长度 mm； S—坯料厚度 mm

$\tau$ —抗剪强度 Mpa； K—系数，间隙不均，刃口钝化等。

## 5 冲裁件的排样：

排样合理，提高材料利用率

无搭边排样：落料件形状的一个边作为另一个落料件边缘，材料利用率高，尺寸不准，毛刺不在同一平面上。

有搭边排样：各落料件之间有一定尺寸的搭边，毛刺小，在同一平面上，尺寸准，费材料。

## 二 修整：

利用修整模沿冲裁件外缘或内孔刮削一薄层金属，以切掉普通冲裁时，在冲裁件断面上存留的剪裂带、毛刺，提高冲裁件的尺寸精度和降低表面粗糙度。

外缘修整：修冲裁件外形

内缘修整：内孔

与切削加工相似，间隙小，可采用负间隙，凸模大于凹模，

精度达 IT6—IT7 表面粗糙度为 Ra0.8—1.6  $\nabla 7$ — $\nabla 8$

## 三 切断：

用剪床或冲模把板料沿不封闭轮廓进行分离的工序

剪切：大板料剪成条料

冲模：生产简单、精度要求不高的平板件

## §2 变形工序

变形工序是使坯料的一部分相对于另一部分产生位移而不破裂的工序，拉深、弯曲、翻边、成型等。

### 一 拉深

1 拉深过程： 1) D 直径平板放在凹模上。

2) 凸模向下运动，板料被拉入凸、凹模的间隙中，形成空心零件。

受力分析： 底部：不变形、传递拉力，厚度基本不变。

环形部分：拉力，厚度略减小。

法兰部分：切向受压力，变厚。

底角部分：拉力、变厚。

2 拉深中的废品：

1) 拉裂  $\sigma_t > \sigma_b$  无其底角部分

拉裂影响因素：

(1) 凸凹模的圆角半径：不可太锋利，否则易拉裂，

钢件： $r_{凹}=10s$   $r_{凸}=(0.6—1)r_{凹}$

(2) 凸凹模间隙：过小，模具与拉深件间的摩擦力增大，易拉裂工件，同时擦伤工件表面，降低模具寿命（磨损）。  $Z=(1.1—1.2)S$

过大：起皱

(3) 拉深系数： $m=d/D$  衡量拉深变形程度，m 越小，变形越大，易拉穿，材料塑性好 m 可↓，一般： $m \geq 0.5—0.8$ （易塑性来取）

若 m 过小，则采用多数拉深， $m_n > m_{n-1} > m_{n-2} \dots$  两次拉深之间退火，消除加工硬化，

$m_{总} = m_n \times m_{n-1} \times m_{n-2} \dots$

(4) 润滑：加润滑剂，减小摩擦，降低拉力，减小模具磨损。

2) 起皱：

发兰受切向压力，起皱，起皱后坯料拉不进凹模，在凹模入口处，

拉裂，若能拉入，产品侧壁有痕迹。

影响因素： $t/D$  小，起皱，m 小，起皱

防止方法：压边圈



### 3 毛坯尺寸及拉深力的确定

按变形前后板料面积不变，计算毛坯尺寸，

拉深力： $P_{\max}=3(\sigma_b + \sigma_s)(D-d-r_{\text{凹}})S$

$P_{\max}$ ——最大拉深力 (N)， $\sigma_b$ 、 $\sigma_s$  抗拉、屈服强度，

$D$ ——毛坯直径 mm， $d$ ——凹模直径 mm

$r_{\text{凹}}$ ——凹模圆角半径 mm  $S$ ——材料厚度 mm

### 4 旋压法生产拉深件

旋压件上生产，不用冲模，变形小，能生产大型封头。

#### 二 弯曲：

坯料的一部分相对于另一部分弯曲成一定角度的工序

1 受力分析：外侧受拉，内侧受压， $\sigma_t > \sigma_b$ ，外侧拉裂

板厚  $S \uparrow$   $r \downarrow$  则  $\sigma_t \uparrow$  易裂

2 最小弯曲半径  $r_{\min} = (0.25 \sim 1)S$  塑  $\uparrow$   $r_{\min}$  可小些

3 弯曲方向：弯曲时尽可能使弯曲线与毛坯的纤维方向一致

4 回弹：回弹现象  $0 \sim 10^\circ$

防止方法：(1) 弯曲的模具角度小一个回弹角

(2) 弯曲时两端加拉力，压力  $\rightarrow$  拉力

三 翻边：在带孔的平坯上用扩孔的方法获得凸缘的工序，

$r_{\text{凸}} = (4 \sim 9)t$

$k_0 = d_0/d < 1$  (镀锡铁皮  $k_0 \geq 0.65 \sim 0.7$  酸洗钢  $k_0 \geq 0.68 \sim 0.72$ )

若  $k_0$  过小，可先拉深——冲孔——翻边

#### 四 成形 (胀形)

局部变形 制造加强筋 局部直径扩大

### §3 冲模的分类和构造

冲模结构合理与否对冲压件质量、冲压生产的效率及模具寿命等都有很大的影响。

一 简单冲模：一次冲程只完成一个工序

凸模被压板固定在上模板上，上模板通过模柄与冲床滑块连接，凹模被压板固定在下模板上，下模板用螺钉固定在工作台上，凹模上装有导料板，导料板前有定位销，导料板上装有卸料板，防止凸模把料带上去。导柱、导套：保证凸凹模对正，间隙均匀。

二 连续冲模：连模具不同部位，一次冲程能完成几道工序，垫片——先冲孔、后落料。

三 复合模：在模具的同一部分上同时完成几道工序

### §4 冲压件结构工艺性

设计冲压件不仅要满足零件的使用性能，还应有良好的工艺性能，以减少材料的消耗，延长模具寿命，提高生产率，降低成本及保证冲压件质量。

#### 一 冲压件的形状和尺寸

##### 1 冲裁件：

1) 落料件外形和冲孔件的孔形应力求简单、对称，排样时废料少，尽可能采用圆形、矩形，避免长槽、长悬结构，总之：利于制造模具，提高模具寿命，节省材料。

2) 冲孔时  $d \geq t$  方孔  $L \geq 0.9t$   $t$ ——料厚，凸模  $\uparrow$

孔距，孔与边距  $\geq t$  保证凹模寿命，外缘凸出或凹进的尺寸  $\geq 1.5t$ ，保证件不变形。

3) 冲裁件：两相邻边要用圆弧联接，避免应力集中，

##### 2 弯曲件：

1)  $r > r_{\min}$  弯曲半径左右对称，若弯曲非对称件，用坯料上孔定位。

2) 短边弯曲，弯曲高度  $h > 2t$ ，若过短，先弯长，后切短。

3) 带孔件弯曲  $L > (1.5-2)t$

若孔与立壁近, 先弯后冲

### 3 拉深件

1) 外形对称简便, 不宜太高, 一便于制模具, 成形容易。

2) 拉深件不能同时保证内外尺寸, 必须注明其一。(∵有间隙)

3) 拉深件圆角半径不能小于允许值。

4) 对半敞开件, 可先拉深——后切断, 工件组成对称件。

5) 带凸缘件, 凸缘大小要合适。过大, 增加拉深次数; 过小, 压边圈失效, 易起皱。

合适尺寸:  $d+12t \leq d_{\text{凸}} \leq d+25t$

对各类冲压件的共同要求:

1 材料的选择: 普通材料——贵重材料, 塑性↑ 薄件, 加筋提高刚度。

2 外形对称: 受力均匀, 模具易制造。

3 复杂件: 冲——焊, 冲——铆结合。

### 二 冲压件的厚度

强度, 刚度允许, 尽量用薄料, 可采用加强筋(胀形), 提高刚度, 省材料。

### 三 冲压件的精度和表面质量

不能超过最高可能的精度, 表面质量不能高于原材料表面质量。

一般精度: 薄件: IT10; 冲孔: IT9; 弯曲: IT9——IT10

拉深高度公差: IT8——IT10; 经整形: IT6——IT7; 直径公差: IT9——IT10

作业: 1 用  $\phi 50$  冲孔模具加工  $\phi 50$  薄料件能否保证精度?

2 用  $\phi 250 \times 1.5$  料拉深  $\phi 50$  筒件, 能否一次拉出?

1 (1) 分清冲孔、薄料概念

(2) 冲孔, 薄料模具设计原则

(3) 精度差

2 (1) 拉深系数  $m \geq 0.5-0.8$

(2)  $m_1 < m_2 < m_3, \dots$

(3) 附加: 润滑、退火

(4)  $d_1 = 250 \times 0.5 = 125$  若  $d/125 = 50/d$   $d > 75 \approx 75$

取  $d = 25$   $75/125 = 0.6$   $50/75 = 0.67$

$m_1 = 0.5$   $m_2 = 0.6$   $m_3 = 0.67$

125 75 50

3 试述下图冲压件的生产过程(工序排列)

落料——冲孔——弯曲

## 第五章 压力加工先进工艺简介

先进工艺特点:

1 尽量使锻压件的形状接近零件形状, 以便达到少、无切削加工的目的, 节省材料, 合理纤维组织, 提高零件机械性能,

2 具有更高的生产率。

3 减少变形力, 可以小设备干大件。

4 广泛用电加热, 少氧化加热, 提高表面质量, 改善劳动条件。

### §1 轧制

一 纵轧: 轧辊轴线与坯料轴线互相垂直的轧制方法。

1 辊锻轧制: 轧辊上装上圆弧形模块。

2 辗环轧制: 对称扩孔, 自动控制尺寸, 可轧截面不同件, 如火车轮箍



二 横轧：轧辊线与坯料轴线平行

齿轮轧制：对辗

三 斜轧：轧辊线与坯料轴线成一定角度。如：轧钢球，周期性截面变化杆件，冷轧丝杠。

四 楔横轧：利用两个外表面镶有楔块，并作同向旋转的平行轧辊轴向送进的坯料进行轧制的方法，称为楔横轧。

主要靠两楔块压缩坯料，使坯料径向尺寸减小，长度增加。

楔块分三部分组成：楔入部分、展宽部分、精整部分。

拔长？如何加入锥形轴？

特点：1) 生产率高，每小时可生产千件。

2) 品精度高，径向公差 0.2mm 内，长度 0.1——1 内。

3) 产品质量好，内部纤维连续，晶粒细化。

4) 节省原材料。

5) 设备投资少，模具寿命高，可达 10——20 万件。

6) 无冲击，噪音小，易自动化。

## §2 挤压

挤压是坯料在挤压筒中受强大的压力作用而变形的加工方法。

一 分类：

1 按金属流动方向分：

正挤压：金属流动方向与凸模运动方向相同。

反挤压：金属流动方向与凸模运动方向相反。

复合挤压：正反挤压同时发生。

径向挤压：金属流动方向与凸模运动方向成 90°。

2 按变形温度：

热挤压： $T > T_{再}$  变形抗力小，表面粗糙。

冷挤压： $T < T_{再}$  变形抗力大，表面光洁，组织硬化，强度高。

温挤压：介冷热之间，低于  $T_{再}$  下某一温度，氧化脱碳少（与热比），

变形抗力小（与冷比），中碳钢、合金钢均可挤。

3 静液挤压：凸模与坯料之间充满液体，凸模通过液体挤坯料，减少摩擦。

应用：低塑性材料，如 铬、钨等，麻花钻。

二 特点：1 三向压应力，塑↑

2 零件精度高，粗糙度低，IT6——IT7 Ra3.2——0.8

3 形状复杂件，深孔、薄壁、异形断面件。

4 机械性能高，纤维合理。

5 节省原材料，生产率高，材料利用可达 70%，易自动化。

## §3 拉拔

拉拔：将金属坯料从拉模的模孔中拉出使坯料变形的加工方法。一般常温，故“冷拉”

特点：1 拉拔产生加工硬化，强度↑ 硬度↑

2 受工压——拉应力，变形量大易裂，∴拉前去应力，拉后退火（多道拉拔）

3 拉拔前清理表面，减少与模具摩擦，提高工件表面质量。

4 产品精度高，广泛应用各类型材、线材、精铰加工。

## §4 精密模锻

在模锻设备上锻造出形状复杂、锻件精度高的模锻工艺，精度达 IT7，

粗糙度 Ra3.2——1.6 ∇5——∇6

特点：1 精确计算原始坯料的尺寸，严格按坯料质量下料。

2 精细清理表面，去氧化皮，脱碳层。

- 3 无氧化加热，少氧化加热，减少氧化皮。
- 4 锻模精度高，导柱、导套、凹模开排气孔。
- 5 锻模润滑，冷却（热胀冷缩）。
- 6 设备刚度大，精度高。（压力机、高速钻等）
- 7 保护冷却，（坑、介质、无焰淬火）少氧化。

#### §5 高速锤锻造

利用高压气体在极短时间内突然膨胀，推动锤头对击。

特点：1 打击速度高（12——25m/s，普 5——9 m/s），变形时间短，充填性好，有热效应，一次形成复杂件。

2 少、无氧化加热，润滑剂，顶出装置，可锻无斜度、小斜度、无飞边件，Ra3.2—0.8。

3 流线合理，机械性能↑

4 适合结构对称件，模具磨损快，寿命↓，单模膛。

5 对厂房无抗震性要求，设备体积小。

#### §6 超塑性成形

超塑性：金属材料在特定条件下可得到极大塑性。

1 动态超塑性：在材料相变温度或同素异构转变温度附近经过多次温度循环或应力循环，获得超塑性。（应用少）

2 静态超塑性：低形变速率： $\dot{\epsilon}=10^{-2}$ —— $10^{-5}$  1/s  $\dot{\epsilon}=\Sigma/s$

变形温度：0.5——0.7T<sub>m</sub>， 细晶：0.5——5μm，拉伸无缩颈

应用：1 板料冲压，可拉深很深筒。

2 板料气压成形。

3 挤压、模锻，如钛合金。

特点：1 扩大了可锻金属种类。

2 充模性能好，精度高，余量小——0

3 机械性能均匀一致。（晶粒细）

4 变形抗力小，充分发挥中小型设备作用。

#### §7 摆动辗压

利用一个绕中心轴摆动的圆锥形模具对坯料局部加压的工艺方法。

若上模是锥体，可辗成一平面工件。若上模母线是曲线，可辗成表面形状复杂件。

特点：1) 省力，局部受力变形，小设备干大件。

2) 可加工薄件，如 1mm 厚件。

3) 产品质量高，省材料。

4) 噪音小，震动小，易自动化。

#### §8 多向模锻

将加热的金属坯料置于多分模面的组合锻模中，在多向锻压机上一次行程作用下，获得飞边，无斜度或小斜度多向孔穴锻件。

实质：挤压为主，加闭式模锻。

无飞边，生产率高。

#### §9 液态模锻

锻铸结合，液态金属浇入下模，用上模加压，使液态金属充满模膛，并在压力下结晶凝固并产生塑性变形，以获得组织致密，性能良好的锻件。

特点：1 组织致密，性能好。

2 省去铸件的浇口、冒口。

3 省力，能加工脆性材料。

应用：大批，性能好，中小型件。



## 四 焊接

### 概述

#### 一 什么是焊接?

焊接实质是用加热或同时加压并用或不用填充材料使焊件达到原子或离子结合的一种加工方法.

实际上被焊接的可以是非金属,如塑料,用钎焊还可以把金属与非金属连接起来.

#### 二 焊接特点及应用

##### 1 特点

1) 省工省料(与铆接比)可省料 12~20%.

2) 能化大为小,拚小为大.

大型结构,复杂零件,用焊接组合结构,焊接可将铸件,锻件连接起来,简化铸锻工艺和设备.

3) 可以制造双金属结构,节省贵重金属.(联想铸造离心铸造)

车刀, 钻头 硬质合金刀片+金刚石膜

4) 生产率高 便于实现机械化,自动化.

##### 2 应用

桥梁 大容器 水压机 飞机 汽车 轮船 电子组件....

#### 三 焊接分类(按焊接过程特点)

1 熔化焊: 局部加热 将焊接接头加热熔化,并形成共同的熔池,冷却结晶形成牢固接头,将两工件焊接成整体.

2 压力焊: 利用加压力(或同时加热)的方法,使两工件结合面紧密接触在一起,并产生一定的塑性变形或熔化,使他们的原子组成新的结晶,将两工件焊接起来.

包括: 电阻焊 摩擦焊 冷压焊等

3 钎焊: 对工件和作为填充金属的钎料进行适当的加热,工件金属不熔化,但熔点低的钎料被熔化,后填在工件之间与固态的被焊接金属互相扩散,钎料凝固后,将两工件焊接在一起.

如 铜焊 银焊 锡焊

## 第一章 熔化焊

电弧焊 气焊 激光焊等

### §1 手工电弧焊(焊条电弧焊)

利用焊条与焊件之间产生的电弧热,将工件和焊条熔化而进行焊接的手工操作.

#### 一 焊接过程及特点

1 焊接过程: 回忆实习

2 特点: 优点: 设备简单. 接头形式、焊缝形状、焊接位置、长度不受限制. 缺点: 有弧光, 劳动条件下降, 质量不稳, 生产率低.

3 应用: 单件小批, 碳钢, 低合金钢, 不锈钢, 铸铁焊补.

适宜板厚 3 ~ 20 mm.

#### 二 焊接冶金过程特点

(焊条和局部被焊接金属在电弧高温作用下的再熔炼过程高于一般冶金温度, 可以看成是一个冶金过程)

1 焊接电弧和熔池温度高: 造成金属氧化烧损, 电弧区气体分解, 增大气体活性, 氧化、氮化 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{Fe}_2\text{N}$ ) 易形成气孔、夹渣等缺陷. 降低焊缝的塑性、韧性. 水分解成 H, 熔入熔池, 形成“氢脆”

2 熔池体积小: 冷速快, 各种化学反应不平衡, 使化学成分不均, 气体熔渣不易浮出. 形成气孔, 夹渣.

3 熔池金属不断更新: 电弧移动, 不断有新的熔渣和金属也进入熔池, 使焊接冶金过程更复杂.

∴ 要得到一个合格的焊缝也不是一件容易的事.

# 采取措施:

1 保护焊区 (药皮, 焊药, 保护气体等)

2 添加合金元素，保护化学成分稳定。（在手工电弧焊中这些保护措施主要靠电焊条实现）

### 三 焊条

1) 焊芯：作用：电极、导电、填金属、添加合金元素。

焊芯牌号：H08A (E) H—焊 08—平均 0.08%C，A—优质 E—高级优质。

H08Mn2Si 0.08%C 2%Mn <1%Si

2) 药皮：作用：稳弧、保护焊区、添加合金元素。

分类：9 种类型 1~6、8 交、直流，7、9 直流

3) 焊条分类

结构焊条 J 不锈钢焊条 B 堆焊焊条 D 铸铁焊条 Z 低温钢焊条 W 耐热钢 R 镍及镍合金 N 铜及铜合金 T 铝及铝合金 L 特殊用途钢 TS

4) 牌号

符号+数 1+数 2 符号—焊条大类 数 1—小类 数 2—药皮

如 J422 结构钢焊条，焊缝抗拉强度不低于 420Mpa，2 型药皮，交直流

# 为什么有的焊条不能用直流焊机？

∴碱性焊条里含大量萤石 (CaF<sub>2</sub>) F 是阻碍气体电离的元素，降低了电荷空间的电离度，使导电能力差，电弧不稳定。

用交流焊机时，电流的方向在不断变化，此时若用碱性焊条电弧易熄灭

### 四 焊接接头的组织与性能

#### 1 焊接工件上温度的变化与分布

1) 距焊缝中心不同，受热最高温度不同。

2) 各点到达最高温度的时间不同。

3) 各点均经过冷—热—冷，相当于受到一次不同规范的热处理。因此，必然有相应的组织和性能的变化。

#### 2 接头组织与性能的变化

以低碳钢为例 P92

1) 焊缝金属

(1) 熔化温度在 1500℃以上。(2) 形成柱状晶，约与池壁垂直（铸造）

∴药皮渗合金，焊缝中硅，锰合金元素可能高于母材，且药皮保护。

∴焊缝性能一般不低于母材（尤其强度）

2) 溶合区 焊缝与母材交界区，∴局部熔化（半熔化区）

组织：铸造组织+受热长大的粗晶。∴晶粒大小不均，化学成分不均（尤其异种金属）

性能：接头中性能最差。∴决定接头性能

3) 过热区：温度远高于相变温度，晶粒产生急剧长大。过热组织。

性能：塑性韧性↓对于易淬硬钢材，危害更大。接头中性能较差

4) 正火区：组织：发生重结晶，晶粒细化，正火组织

性能：机械能提高

5) 部分相变区：组织：部分相变 (F、P) 晶粒不均（部分 F 和 P 重结晶成为较细晶粒，未转变的 F 长大）

性能：稍差

3) ~5) 为热影响区

1 总之，熔合区与热影响区中的过热区对焊接质量影响最大，应尽量减少它们的宽度。

1 热影响区大小和组织变化程度决定于焊接方法、焊接规范、接头形式、焊后冷却等因素，在保证焊接质量的前提下，增加焊接速度，减少焊接电流，减少热影响区尺寸。

1 措施：焊后热处理，正火，退火---细化晶粒



## §2 焊接应力与变形

### 一 产生应力与变形原因

根本原因：加热不均，各处热胀量不同，又是整体，各部分互相限制

（与铸造热应力联系讲）内应力通过变形自发释放趋势，拉应力部分缩短，压应力部分伸长。

### 二 焊接变形基本形式

- 1) 收缩变形：纵 横
- 2) 角变形：V 型坡口对接时，因焊缝截面上下不对称，焊后收缩不均引起。
- 3) 弯曲变形：如丁字梁，焊缝在一端
- 4) 波浪变形：薄板焊缝收缩板材失稳（联系自由锻高坯镦粗、拉深起皱）
- 5) 扭曲变形：如工字梁，焊接顺序不当。

### 三 防止和减少焊接变形措施

#### 1 合理结构设计

- 1) 尽量减少焊缝，焊缝长度，截面厚的件两面开坡口。
- 2) 焊缝对称
- 3) 避免密集交叉
- 4) 利用型材、冲压件代替，减少焊缝。

#### 2 工艺措施

- 1) 加余量法：在工件尺寸加大，通常 0.1~0.2%
- 2) 反变形法：焊前使焊件处于反变形位置，以抵消焊后变形。（联系冲压弯曲）
- 3) 刚性固定法：将工件固定夹紧，或点焊在工作台上，焊后变形大大减少。这种方法适于塑性好的低碳钢件。
- 4) 选择合理的焊接顺序：对称两侧都有焊缝，尽量使收缩能互相抵消。
- 5) 焊前预热：工件预热 150~350℃，减少温差，显著减少焊接应力。

### 四 焊接变形的矫正方法

基本原理：新变形抵消焊接变形。

- 1 机械矫正法：用机械力矫正，压力机 手锤敲击。
- 2 火焰矫正法：乙炔焰加热焊件，使其产生反向等量变形。主要低碳钢，部分低合金钢。

### 五 减少和消除焊接残余应力的方法

- 1 焊前预热，减少温差
- 2 焊后退火（去应力退火） 600~650℃ 保温 80~90%残余应力消除，可整体，局部

## §3 埋弧自动焊

埋弧——电弧埋在焊剂下，弧光不外露。

自动焊——引燃电弧，送焊丝，移动电弧，最后灭弧——机械

### 一 焊接过程

自动焊机头将光焊丝自动送入，保证弧长。电弧在焊剂下燃烧，靠焊机移动（或工件动）。焊剂从漏斗中不断流出，撒在焊丝前工件上，焊剂熔化成熔渣，部分未熔可回收。

焊丝——相当于焊芯。焊剂——相当于药皮。常用焊剂见书上。

### 二 特点

- 1 生产率高，比手工高 5~10 倍（V↑ I↑ 不换焊丝）
- 2 焊接质量高，且稳定。[（1）冷却速度慢，有利于气体、杂质上浮。（2）焊区保护好。（3）规范控制好。]
- 3 节省金属材料。[（1）没焊条头。（金属飞溅少，≤25mm 不开坡口。）]
- 4 劳动条件好。（看不到弧光，焊接烟雾少，机械操作。）

### 三 工艺

- 1 下料，准备坡口，装配要严格准确。
- 2 焊前工件焊缝两侧 50—60mm 内的一切油污、铁锈除去，以免产生气孔。
- 3 一般适于长规则平焊、对接、搭接、丁字接头，规则环焊缝。

应用：碳钢、低合金钢、不锈钢、耐热钢，中、厚板平焊长直缝，大直径  $d \geq 250\text{mm}$  环缝。

#### §4 气体保护焊

##### 一 氩弧焊

用氩气做保护气体，电弧发生在电极和焊件之间，在电弧周围通以氩气。

##### 1 不熔化极氩弧焊

电极：钨 or 钨合金，（熔点：3380—3600℃）只导电产生电弧，必要时需另加焊丝。

（1）直流正接：∵阴极 3000℃，阳极 4200℃ > 钨熔点，∴钨→阴极，

工件→阳极，以减少钨损耗。

（2）交流或直流反接：焊铝镁及其合金，∵在焊件和熔池表面易形成熔点很高的氧化物薄膜，阻碍金属熔合和电弧稳定燃烧，∴采用“阳极破碎”——用较大氩正离子撞击氧化膜，使之破碎以利于焊合，多用交流，I 不能太大，钨极氩弧焊口适用于  $\delta \leq 6\text{mm}$  薄板。

##### 2 熔化极氩弧焊

用焊丝做电极，并填焊缝，I 可大， $\delta = 3—25\text{mm}$  均可焊，多直流反接：电弧稳定，自动、半自动焊接。

##### 3 特点

- 1) 焊区保护，焊接质量好。
- 2) 电弧稳、飞溅少（Ar 导热小，电弧热损失少）
- 3) 电弧在压缩气流下燃烧，热量集中，熔池小，热影响区小，焊接变形小。
- 4) 明弧可见，便于操作，可自动全位置焊接。
- 5) 适于焊各类合金钢，易氧化的有色金属。
- 6) 焊前工件清理严格，设备价高，氩气贵，成本高。
- 7) 只在室内（防保护气流破坏）

#### 二 CO<sub>2</sub> 焊

CO<sub>2</sub> 做保护气体，

电极：焊丝

CO<sub>2</sub> → CO + O<sub>2</sub> O<sub>2</sub> 进入熔池，会使 Fe、C、Mn、Si 和其它合金元素氧化烧损，降低焊缝力学性能，∴用 Si、Mn 较高的焊丝，或合金钢焊丝。

特点：1) 成本低，是手工、埋 40%

2) 质量较好，（低 H，Mn↑、S↓，抗裂，热量集中，热影响区小）

3) 生产率高（自动送焊丝，I 大，v↑，比手工提高 1—4 倍）

4) 操作性好（明弧可见，适于各位置）

5) 飞溅大，弧光强，焊缝不美观，易产生气孔。

应用：低 C 钢，低合金钢， $\delta = 0.8—4\text{mm}$ ，最厚 30mm。

#### §5 其它熔化焊

##### 1 等离子弧焊

利用一些装置使自由电弧的弧柱受到压缩，弧柱中的气体就完全电离，产生温度比自由电弧高得多的等离子电弧。

机械压缩（喷嘴压缩）：通入一定压力和流量的氩气或氮气时，冷热压缩，气流均匀包围着电弧，使弧柱外围受冷，带电粒子向弧心移动。

电磁压缩：带电粒子在弧柱中的运动，会产生电磁力，使带电粒子相互靠近。

特点：（1）热力集中，12mm 不开坡口，变形小。



- (2) 电流, 电弧仍稳定, 可焊箔材、薄板。
- (3) 焊接质量好 (电弧稳定, Ar 保护)

## 2 真空电子束焊

在真空室, 利用电子束将金属加热熔化。

特点: 1) 能量集中, 可达 200mm, 厚件不开坡口, 不变形。

2) 真空中焊, 不氧化, 焊接质量好。

3) 电子束大小可调, 薄件也可焊。

应用: 焊高熔点金属 (钨、钼、钽、铌、钛)。

缺点: 焊件大小受真空室限制。

## 3 激光焊

利用激光焊接

主要优点: 热量集中, 激光可反射、聚焦、改变方向, 适于不同位置焊接。

多用焊薄板, 细丝。

# 第二章 压力焊与钎焊

## §1 电阻焊

利用电流通过焊件接头的接触面及其邻近区域所产生的电阻热将焊件局部加热到熔化或塑性状态, 并在压力下形成焊接接头的焊接方法。

### 一 点焊

1 电极: 柱状 工件: 搭接

2 焊接过程: 电极压紧工件→通电加热 → 断电→保持原压力 (加大) →去压。

分流: 两点之间距离小, 分流大。

3 特点: 生产率高、易自动化、焊接变形小、设备复杂, 焊前要严格清理工件表面。

应用: 薄件、钢筋  $\delta \leq 4\text{mm}$ 。

### 二 缝焊

1 焊接过程: 与点焊相似, 只是用滚动盘状电极代替柱状电极, 形成连续焊点。

2 特点: 由于焊点重迭 50% 以上, 故密封性好, 但分流严重, 适于 3mm 以下薄板。

### 三 对焊

利用电阻热使对接接头在整个断面上连接起来的一种电阻焊方法。

#### 1 电阻对焊:

(1) 焊接过程: 对正、夹紧、予压力→通电→塑性状态→增大压力、断电。

(2) 特点: 易操作、接头外形光滑、毛刺少、接触面质量影响焊后质量。

应用: 断面简单, ( $L_{ord} < 20\text{mm}$ ) 强度要求不高的件。

#### 2 闪光对焊:

(1) 焊接过程: 对正、通电→点接触→面接触熔化→加压、断电。

(2) 特点: 接头质量好 (飞溅、挤出杂质、夹渣少)、金属损耗多、工件尺寸留较大余量, 毛刺多。

应用: 同种、异种金属均可, 形状尽量相同,  $d=0.01\text{mm}$   $F=20000\text{m}^2$

刀具、钢轨、管子等。

### 四 摩擦焊

利用工件接触摩擦生热, 将工件端面加热到塑性状态, 然后在压力下完成焊接。

1 焊接过程: 加压→旋转其一, 接触的生热→塑性状态, 停转→加压→塑性变形, 完成焊接。

2 特点:

(1) 接头质量好 (接头杂质、氧化皮挤出、不易产生气孔、夹渣)。

- (2) 操作简单、易自控、生产率高。
- (3) 设备简单、耗电少（只有闪光焊 1/10——1/15）
- (4) 焊接金属广泛，尤其性能差别大的异种金属，  
如：碳钢+镍基合金、铝+钢

## §2 钎焊

利用比母材熔点低的钎料熔入接头间隙完成焊接。

硬钎焊：钎料熔点 450℃ 以上，接头强度高，铜等。

软钎焊：钎料熔点 450℃ 以下，接头强度低，锡。

### 一 焊接过程：

- 1 清理工件，搭接
- 2 钎料放在装配间隙处
- 3 加热钎料，使之熔化，（毛细作用）使钎料进入间隙内，与金属相互扩散，凝固形成钎焊接头。

### 二 钎剂作用：

- 1 清除母材表面的氧化膜及其它杂质。
  - 2 改善钎料流入间隙的性能（湿润性）。
  - 3 保护钎料及母材免于氧化，钎剂对焊接质量影响较大
- 软：松香、氧化锌等；    硬：硼酸、氧化物。

### 三 加热方法：

烙铁、火焰、电阻、感应炉。

### 四 特点：1 温度低，变形小；    2 工件尺寸精确；

- 3 同、异种金属均能焊；    4 设备简单、易控制；
- 5 接头强度低，耐温差；    6 焊前清理严格；
- 7 整体加热，可焊多条焊缝，生产率高。

## 第三章 常用金属材料的焊接

### §1 金属材料的可焊性

#### 一 可焊性的概念

金属的可焊性是指被焊金属材料在一定的焊接条件下获得优质焊接接头的难易程度。包括两方面：

- 1 接合性能：焊接接头产生工艺缺陷的倾向，尤其是出现各种裂纹的可能性。
- 2 使用性能：焊接接头对使用要求的适应性。

可焊性好：是用最简单、最普遍的焊接工艺条件，便可以得到优质的焊接接头。

可焊性差：要用特殊、复杂工艺条件下才得到优质的焊接接头。

常用材料的焊接性见 P105 表 4—4（徐）

#### 二 估算钢材可焊性方法

C 对钢的可焊性影响最显著，因此用碳当量来估算钢材的可焊性：

$$C_{\text{当量}} = C + \text{Mn}/6 + (C_r + \text{M}_o + \text{V})/5 + (\text{N}_i + \text{C}_u)/15 (\%)$$

式中：C、Mn、C<sub>r</sub>、M<sub>o</sub>、V、N<sub>i</sub>、C<sub>u</sub> 为质量百分数上限。

C<sub>当量</sub> < 0.4%，塑性好，淬硬性不明显，可焊性优良，不预热。

C<sub>当量</sub> = 0.4—0.6%，淬硬性↑，可焊性↓，加工艺措施。

C<sub>当量</sub> > 0.6%，塑性↓，淬↑，可↓，工艺措施，热处理。

实际，除上述估算外，对新材料还应试验，以合理制定工艺方案。

## §2 钢的焊接

### 一 低碳钢

含 C < 0.25%，塑性好，可焊性好。

手工电弧、埋焊、气体保护焊、电阻焊等。



Δ 一般不需采取特殊工艺措施，  
对于  $\delta > 50\text{mm}$  的结构，尤其  $-10^\circ\text{C}$  以下，需预热  $50^\circ\text{C}$ ，  
焊后去应力退火或正火，防内应力变形、开裂。

## 二 中、高碳钢

中， $0.25\%—0.6\%\text{C}$ ，随含 C 增加，淬硬 $\uparrow$ ，主要手弧。

高， $>0.6\%\text{C}$ ，淬硬性 $\uparrow\uparrow$ ，可 $\downarrow$ ，手、气。

Δ 中高碳钢与低碳钢的热影响区不同，如 P<sub>106</sub> f4—24，其热影响区可分成淬火区和部分淬火区。

### 1 焊接特点：

- (1) 接头易产生淬硬组织和冷裂纹，M 内应力 $\uparrow$ ，易裂。
- (2) 焊缝金属热裂倾向较大

∴ 中、高碳钢含 C、P、S 均高于焊芯，∴ 母材熔化溶入熔池。

### 2 工艺措施

- (1) 焊前预热：减少内应力，M 含量 $\downarrow$ ，中  $150—250^\circ\text{C}$ 。
- (2) 合适焊条：低氢焊条或铬镍不锈钢焊条 A102、A302，抗裂性好。
- (3) 降低焊缝含碳量：小电流、细焊条、多层焊、开坡口以减少母材溶入焊缝。
- (4) 焊后缓冷和热处理：减少内应力，消除内应力，改善组织及力学性能。

## 三 低合金钢

C<sub>当量</sub>  $< 0.4\%$ ，可焊性 $\uparrow$ ，( $\sigma_s \leq 400\text{MPa}$ ) 低强度合金钢，手弧焊，埋弧自动焊，与低 C 钢相同。

C<sub>当量</sub>  $= 0.4—0.6\%$ ，可 $\downarrow$ ，淬硬、冷裂 $\uparrow$ ，( $\sigma_s \geq 450\text{MPa}$ ) 高强度合金钢，与中 C 钢相同，手弧、埋弧、预热、低 H 焊条，焊后热处理。

## §3 铸铁的焊补

铸铁可焊性不好，所以铸铁焊接主要是焊补铸件的铸造缺陷或损坏的铸件。

### 一 铸铁焊接特点：

#### 1 焊接接头易产生白口组织

冷速 $\uparrow$ ，易生成白口和淬火组织，硬 $\uparrow$ ，难加工。

#### 2 易产生裂纹

∴ 铸铁强度低、塑性差，白口、淬硬。

#### 3 焊缝易产生气孔和夹渣

V 冷 $\uparrow$ ，焊接时 C 氧化产生的 CO 不能排出 $\rightarrow$ 气孔

焊接时硅氧化产生的硅酸盐溶渣不能浮出 $\rightarrow$ 夹渣。

#### 4 适于平焊：∴ 流动性好。

### 二 补焊方法

#### 1 热焊法：预热 $600—700^\circ\text{C}$ （整或局），受热均匀，防白口、裂纹，焊后质量好，易加工。

不足：成本高，生产率低，劳动条件差，

气焊：手弧焊—铸铁芯焊条

#### 2 冷焊法：不预热或预热 $400^\circ\text{C}$ 以下，生产率高，成本低，质量较差，靠焊条调整焊缝化学成分，防白口、裂纹。

(1) 低 C 钢芯焊条；(2) 镍基铸铁焊条；(3) 铜基铸铁焊条。

## §4 有色金属焊接

### 一 铜及铜合金的焊接

#### 1 特点：

##### (1) 易氧化和产生裂纹

(a) 高温液态铜易氧化，生成氧化亚铜 ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) 与铜形成低熔点共晶体 ( $\text{Cu}_2\text{O}—\text{Cu}$ )，在晶界，易裂。

(b) 铜及其铜合金线胀系数大，收缩率也大，内应力 $\uparrow$ ，易裂。

##### (2) 难焊透、难熔合

导热性高，热量散失多，不易达到焊接温度，需大功率电源，当焊件厚度和刚性较大时，需预热。

(3) 易产生气孔

(a) 铜液态时吸气性强，(吸氢)，凝固时对气体溶解度减小，易成气孔。

(b) 高温时，氧化亚铜与 H 生成水蒸汽，易成气孔。

(4) 接头质量不好

合金元素易氧化，且组织粗大 ( $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Cu}$ )。

如：黄铜中 Zn 易蒸发。烧损，青铜中铅易氧化，ZnO 有毒。

## 2 方法

Δ 氩弧焊 (最佳)，气焊，手弧焊和钎焊

Δ 紫铜、青铜：气焊中性焰。(防氧化或吸氢)

Δ 黄铜：气焊：微氧化焰+含硅焊丝，(1 温度低，Zn 蒸发少。2 熔池上形成氧化硅薄膜，阻止 Zn 蒸发，防 H 溶入)。

Δ 紫铜及合金也可用于手弧焊，用相应铜及合金焊丝。

## 二 铝及铝合金的焊接

### 1 特点：

(1) 易氧化：

$\text{Al}_2\text{O}_3$ ，熔点  $2050^\circ\text{C}$ ， $\delta=0.1-0.2\mu\text{m}$ ，氧化膜比重大，易夹渣。

(2) 易产生气孔：

液态大量吸 H，固态不溶 H，易产生气孔。

(3) 易烧穿：

高温塑性，温度↓，且无颜色变化，加垫板。

(4) 难焊透：

导热率较大，热量易散失，大电源，预热。

(5) 易热裂纹：

线胀、收缩大，内应力大。

## 2 方法

氩弧焊、气焊、电阻焊、钎焊。

Δ 焊接质量要求高，用 Ar 焊。

Δ 焊接质量要求不高，用气焊，中性焰，同时使用熔剂，去除  $\text{Al}_2\text{O}_3$  薄膜，在熔池表面形成熔渣，注意为防止熔剂腐蚀焊件，焊后立即清洗掉熔剂，多用焊薄板 (0.5—2mm)，点、缝焊、焊薄板。

Δ 焊前严格清理工件。

## 第四章 焊接件的结构设计

▽使用性能+焊接工艺 综合考虑→质量↑、成本↓、生产率↑

### 一 焊缝的布置

结构设计关键，合理，减少应力、变形，强度↑，生产率↑，成本↓，劳动条件改善。

以下为原则：

1 焊缝位置应便于操作

( (徐) P<sub>III</sub>—f4—25)

手弧焊—焊条能伸入待焊部位。

埋弧焊—放住焊剂。

点、缝—电极能放入。

▽焊缝位置保证焊接装配容易。P<sub>III</sub>—f4—26

2 焊缝应尽量分散 P<sub>III</sub>—f4—27、28

焊缝密集交叉—接头交叉处过热，加大热影响区，降低力学性能，增大变形、应力。



### 3 焊缝尽量对称

使各焊缝变形相互抵消 P<sub>112</sub>—f4—29

### 4 焊缝尽量避开最大应力或应力集中位置 P<sub>112</sub>—f4—30、31

### 5 焊缝转角处应平缓过渡

避开应力集中 P<sub>113</sub>—f4—32

### 6 焊缝尽量避开切削加工面 P<sub>113</sub>—f4—33

### 7 焊缝位置尽量平焊

## 二 焊接接头设计

根据结构形状,使用性能,焊件厚度,坡口加工,难易程度,焊接方法等确定,应易于保证质量,降低成本。

#### 1 接头型式:

常用型式:对接、搭接、角接和 T 型接头等。

对接—受力简单、均匀,节省材料、接头质量易保证。

搭接—受力时产生弯矩。 P<sub>114</sub>—f4—34、35

#### 2 坡口型式:

根据材料厚度  $\delta$  定,还考虑坡口加工难易及焊接工艺。 P<sub>115</sub> f4—36

手弧常用: V X v K

埋弧:坡口比手弧小,∴I↑,熔深大

气、钨氩 焊薄板 卷边接头 f4—37

### 3 不同厚度金属材料焊接的过渡型式:

接头厚度尽量相同,避免应力集中,加热不均, P<sub>116</sub>—f4—38、39

## 三 结构设计举例 P<sub>116</sub>—f4—40

## 第五章 焊接检验

### §1 焊接接头缺陷分析

#### 一 焊接缺陷

未焊透、裂缝、气孔、烧穿、夹渣、咬边等。

##### 1 未焊透:

1) 产生部位:焊缝与母材之间,多层焊层与层之间等,尤其根部。

2) 原因:工件表面铁锈,坡口角度,间隙太小,v 太快,电流过小等。

3) 危害:受力变形小,易应力集中,相当于一个裂缝。

4) 防止措施:清理表面,合理选择焊接规范。

##### 2 裂缝:

是最严重缺陷,不但减小工作面积,降低接头强度,较高应力集中,裂缝扩展,结构突然破坏。

如:桥断,轮船沉,压力容器爆炸。

1) 热裂纹:结晶过程中产生。

(1) 部位:焊缝内部、表面。

(2) 原因:内应力, S→F<sub>e</sub>S 晶界。

(3) 措施:化学成分合理,合理接头结构。

2) 冷裂纹:冷却到 300℃ 以下直至室温时产生。

(1) 部位:焊缝,近缝区

(2) 原因:拉应力,脆性组织 (P)

(3) 措施:结构合理,焊后热处理。

### §2 焊接质量检验

一 外观:肉眼,低倍放大镜 (小于 20 倍),表面气孔,咬边,未焊透,裂缝等。

## 二 内部:

1 磁粉检验: 焊缝撒上铁粉, 外加磁场。

2 超声波: 反射→脉冲波形

3 X 射线、 $\gamma$  射线 (电磁波), 透过物质, 程度减弱。

三 机械性能检验:  $\sigma_s$   $\sigma_b$   $\delta$  弯曲角度  $\alpha$ ,  $a_k$  主要用于研究试制工作, 技工考核等。

四 密封性检验: 容器、管道

1 静气压: 通入压缩空气, 外涂肥皂水。

2 煤油: 一侧煤油, 一侧石灰水, 渗透, 灰粉呈黑色斑条。

3 水压: 装水, 加压。

## 五 毛坯选择

机械零件的制造: 毛坯成形和切削加工两个阶段。(铸、锻压、焊)

毛坯选择是否合理直接影响零件的制造质量和性能, 而且对零件的制造工艺过程, 生产周期, 成本都有很大影响。

### §1 各类毛坯的特点及应用

#### 一 铸件

∴ 铸造特点: 适应广 (几克—几百吨), 内腔复杂, 价低。

∴ 耐磨、减振、价廉——铸铁, 如活塞、机身等。

受力复杂的件: 如机架——铸钢。

连杆——球铁

但组织粗大, 受动载荷件, 一般考虑用锻件。

#### 二 锻件

特点: 组织细, 力学性能好。

自由锻件——形状简单

模锻件——形状较复杂, 但锻模贵, 适批量, 尺寸受限。

#### 三 冲压件

主要:  $\delta < 6\text{mm}$ , 塑性好, 金属、非金属制品。

冲压件精度高, 互换性好, 冲模成本高, 宜批量生产。

#### 四 焊接件

特点: 大→小 工序简单, 工艺准备、生产周期较短, 而且可以实现各种工艺组合 (锻、铸、焊), 各种材料组合, 注意焊接变形, 质量检验。

#### 五 型材

特种压力加工 (轧、挤、拉拔等) 生产的型材, 能利用型材的直接利用。常见毛坯的特点及应用,  $P_{123}$  表 5—1

### §2 毛坯的成本与质量

将毛坯成本与质量结合起来合理选择毛坯种类和制造方法, 具有重大技术和经济意义。

#### 一 毛坯成本:

材料成本、工时、车间管理等费用, 降低成本主要方法 (不能同时质量下降):

##### 1 结构工艺性合理

改变设计, 降低成本。  $P_{124}$  f5—1

##### 2 降低原材料和加工成本

以“铁”代钢, 球铁代 45、40Cr, 做曲轴。

##### 3 改善毛坯生产工艺

如用熔模铸生产零件代替铸件 (小), CA6140 车床上 60 种零件用熔模铸造生产, 金属利用率由原来的 31.5% 增加到 81.2%。



#### 4 改善车间管理

##### 二 毛坯质量

包括材质、尺寸精度、表面质量等。

- 1 材质：力学性能，物理化学性能好。
- 2 尺寸、表面质量：尺寸准确，表面无氧化皮、粘砂，硬度均匀、稳定，尤其大批量生产，这项好，省材、省力。
- 3 技术要求：技术要求要适当，如铸件：微观疏松，无密封要求时不用考虑，允许存在。

#### §3 毛坯选择

##### 一 毛坯选择原则

- 1 适应性：即满足使用要求。
- 2 经济性：从几个方案选择成本低的，不只考虑材料成本低，还要考虑寿命。
- 3 生产条件：本厂，外协。
- 4 生产批量：批量不同，方法不同。

自由锻，小批；手工造型，小批；模锻，大批。

- 5 零件材料的工艺性能：选材料时同时考虑应用工艺的工艺性能。
- 6 零件结构、形状、外形尺寸：  
选材及工艺方法时要考虑零件结构、形状、尺寸。

##### 二 典型零件毛坯的选择

##### 1 轴类：

光滑轴：热轧圆钢、冷轧圆钢。

台阶轴：轧钢或锻件

单件小批：自由锻，成批：模锻。

结构复杂，受力不大，可铸件；也可锻——焊、铸——焊。

##### 2 套类：

同轴度要求高，铸、锻、挤、粉末冶金。

##### 3 轮盘类：

如齿轮：中、小齿轮：锻件，

大量：热孔、精锻，

铸钢、球铁。

##### 4 箱座类

铸铁件，载荷大：铸钢。