
工 业 技 术 资 料 第 102 号

上海人民出版社出版

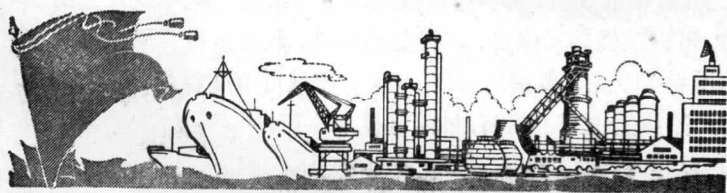
(上海绍兴路 5 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

1972 年 5 月第 1 版 1972 年 5 月第 1 次印刷 定价 0.04 元

黑色金属小零件的冷挤压

上海自行车三厂 编
上海市科学技术交流站模具队



工业技术资料

第102号

上海人民出版社

黑色金属小零件的冷挤压

倒牙钢碗是自行车中轴部件中的主要零件之一，原来多数采用比较落后的热模锻工艺加工，不仅劳动强度高，生产效率低，切削余量大，材料消耗多，而且产品质量还不稳定。

经过无产阶级文化大革命的战斗洗礼，上海自行车三厂的广大革命职工与上海科学技术交流站模具队的一些工人老师傅，努力学习和运用马列主义、毛主席的哲学思想，批判了叛徒、内奸、工贼刘少奇一类骗子所推行的“爬行主义”、“洋奴哲学”、“专家治厂”、“技术第一”等反革命修正主义黑货，组成了以工人为主体的，有革命干部和革命技术人员参加的“三结合”冷挤压工艺小分队，在缝纫机零件五厂、第一汽车附件厂、一机部机械科学研究院、交通大学等单位的热情帮助下，遵照毛主席关于“实践、认识、再实践、再认识”的教导，边干边学，边学边干，通过反复实践，不断改进，基本上掌握了冷挤压工艺。这一新工艺的成功，可以减轻劳动强度，改善劳动条件，节省钢材。原来每只零件用料 115 克，现在用料仅 80 克，每只可节省材料 35 克。同时产品质量也有了提高，目前已投入生产。

一、试验经过

在工艺试验之前，我们思想上存在着一种“怕”的思想，认为冷挤压是一种比较年轻的新技术，一定很难掌握，但是经过实际试验，并不完全如此。我们在符合客观外界的规律性，不断实践和总结经验教训的情况下，在试验倒牙冷挤压工艺中，克服了困

难，终于得到了成功，挤止 4160348670 连冲了几只都很好。在完成了工艺试验之后，就进入到考核模具性能、寿命和结构的成批生产。成批生产遇到的第一个问题是凹模的脱底崩裂，一个凹模只能冲二、三百只零件就碎掉了，调换了好几只凹模都是这样。我们进行了分析研究，一致认为主要由于凹模内径相接处的圆弧太小，产生了应力集中。于是改变了凹模的加工工艺，先进行热处理，然后再精车，同时适当地放大台肩处圆弧 R 的尺寸，以消除应力集中及改善被挤压金属材料的流动条件。再次实践证明，分析的结论是正确的，模具寿命从二、三百只提高到三千多只，目前能达到一万只以上，基本上解决了凹模的使用寿命。

凹模寿命问题的矛盾解决了，又产生了新的矛盾——凸模的断裂，而且这个问题比凹模更加复杂，一个凸模只冲了三、四百只就断了，有的还要少，最多也只有八、九百只。断裂的方式是相同的——径向齐肩断裂。改变加工工艺，先热处理后精车，没有效果；坯料重新打平、擦光，也不解决问题。到有关兄弟单位去学习后，采取了一系列的措施，把回火时间放长，锻打模具坯料，提高模具的光洁度等，都没有收到预想的效果，寿命不超过一千。我们学习了毛主席关于“任何新生事物的成长都是要经过艰难曲折的”教导，重新进行了试验、分析、总结改进，改变了冲头的几何形状和相互配合的尺寸，提高了模具的光洁度，使凸模的寿命从三、四百只提高到三千多只。由于模具几何形状等的改变，凸模断裂情况也发生了变化，由齐肩断裂变化为轴向开裂。有关资料上也说 Cr12 材料容易轴向开裂，这说明需要改变模具钢材。经过摸索，用 GCr15 轴承钢做冷挤压凸模，平均寿命在一万只左右，为大量生产创造了条件。

二、坯料准备

坯料准备过程简述如下:

(1) 落料: 以 $\phi 25$ 热轧圆钢(牌号 B2)在冲床上落料, 重量控制在 77~80 克;

(2) 退火: 消除剪切应力;

(3) 镦粗: 将 $\phi 25$ 毛料在 80 吨冲床上镦粗成 $\phi 35$, 高约 11 毫米, 两端平行的鼓形坯料;

(4) 退火: 硬度 HB100~105;

(5) 去氧化皮;

(6) 磷化;

(7) 皂化。

三、工艺计算

1. 变形限值

冷挤压的变形限值, 参见表 1。

正挤时的断面缩减率为:

$$\varepsilon = \frac{\frac{\pi}{4} D^2 - \frac{\pi}{4} d^2}{\frac{\pi}{4} D^2} = \frac{D^2 - d^2}{D^2} = 1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2$$

因正挤时 $\frac{D}{d} < 2$ 或 $\frac{d}{D} > \frac{1}{2}$,

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 > \frac{1}{4}$$

故正挤时断面缩减率限值为:

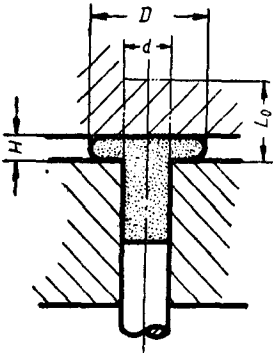
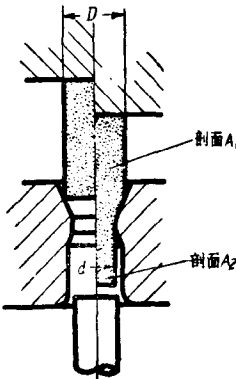
$$\varepsilon < 1 - \frac{1}{4} \quad \text{或} \quad \varepsilon < 75\%$$

反挤时的断面缩减率为:

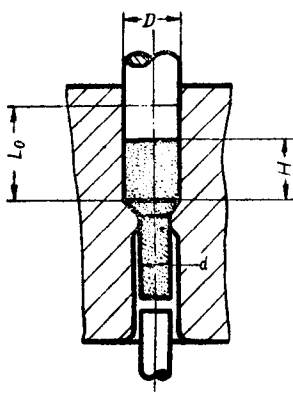
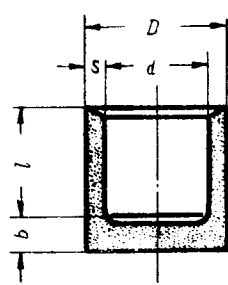
$$\varepsilon = \frac{\frac{\pi}{4} d^2}{\frac{\pi}{4} D^2} = \frac{d^2}{D^2} \leq (0.86)^2$$

或反挤时断面缩减率限值也是 $\varepsilon < 75\%$ 。

表1 几种冷挤压的变形限值

镦粗	自由正挤
	
适宜: $\frac{D^2}{d^2} > 1.4 \quad H < D$ 极限: $\frac{D}{d} \leq 2.2$ $\frac{L_0}{d} \leq 1.8 \text{ (一次自由镦粗)}$ $\leq 4.5 \text{ (二次镦粗)}$	极限值: 材料退火 $\frac{D^2}{d^2} \leq 1.4 \quad \bigcirc \rightarrow \bigcirc$ $\frac{A_1}{A_2} \leq 1.25 \quad \bigcirc \rightarrow \square, \diamond$ 冷拔型材 $\frac{D^2}{d^2} \leq 1.5 \quad \bigcirc \rightarrow \bigcirc$ $\frac{A_1}{A_2} \leq 1.3 \quad \bigcirc \rightarrow \square, \diamond$

(续表)

正 挤	反 挤
	
适宜: $\frac{l^3}{d^2} > 2$ $H > D$ 极限: $H < 6D$ $L_0 < 10D$ $\frac{D}{d} < 2$	极限: $b \geq 0.8s$ $l \leq (2.5 \sim 3)d$ $d \leq 0.8D$

以上的变形限值,只能作为一般情况下的参考。如果正挤时,凹模具有足够的强度,可以使 ε 超过75%。

工件的尺寸和要求见图1,我们采用反挤的断面缩减率是:

$$\varepsilon = \frac{30^2}{35^2} = 0.735$$

$$= 73.5\% < 75\%。$$

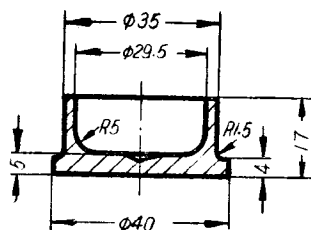


图 1

2. 挤压力的计算

挤压力可以利用公式计算出来,也可以利用图表求出。

图2即为钢材正挤压力的计算图解。

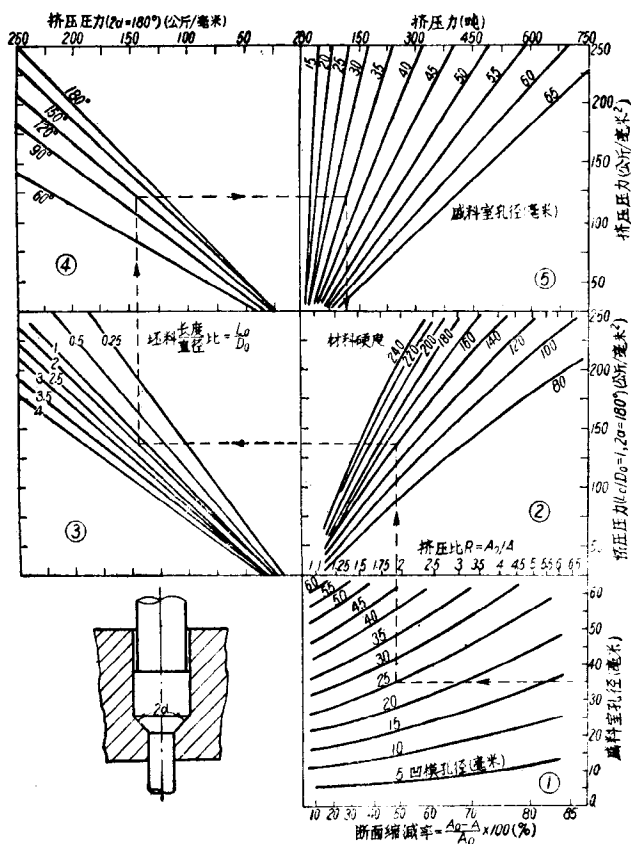


图 2

【例】 如图 3 所示的正挤压工件，

盛料室孔径(坯料直径)	$\phi 35$
凹模孔径(工件直径)	$\phi 25$
硬度(布氏或维氏)	140
坯料长度/直径比	2
凹模锥角	120°

从图 2 查得

挤压压力

$$p = 122 \text{ 公斤/毫米}^2$$

挤压力

$$F = 125 \text{ 吨}$$

如坯料头部有锥度， 与凹模锥角配合， 则在计算坯料的长度/直径比时， 坯料带锥度部分的长度应除去， 只考虑圆柱部分的长度。

图 4 为钢材反挤压力的计算图解。

按我们现在的倒牙钢碗冷挤为例：

盛料室孔径(坯料直径)	$\phi 35$
凸模直径	$\phi 30$
硬度(布氏或维氏)	105
坯料长度/直径比	$\frac{11}{35} = 0.3$

在第 ① 格内， 从盛料室孔径 $\phi 35$ 与凸模直径 $\phi 30$ 的交点作垂直线， 向上进入第 ② 格， 再向下进入第 ③ 格内。 垂直线与第 ① 格下面横坐标相交， 得断面缩减率读数为 0.755 (此数不必读出)， 此数与第 ③ 格内 $\frac{L_0}{D_0} = 0.3$ (估计) 曲线相交， 得修正系数为 0.95。

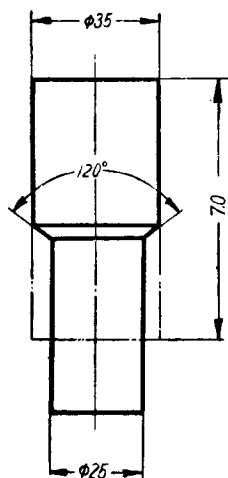


图 3

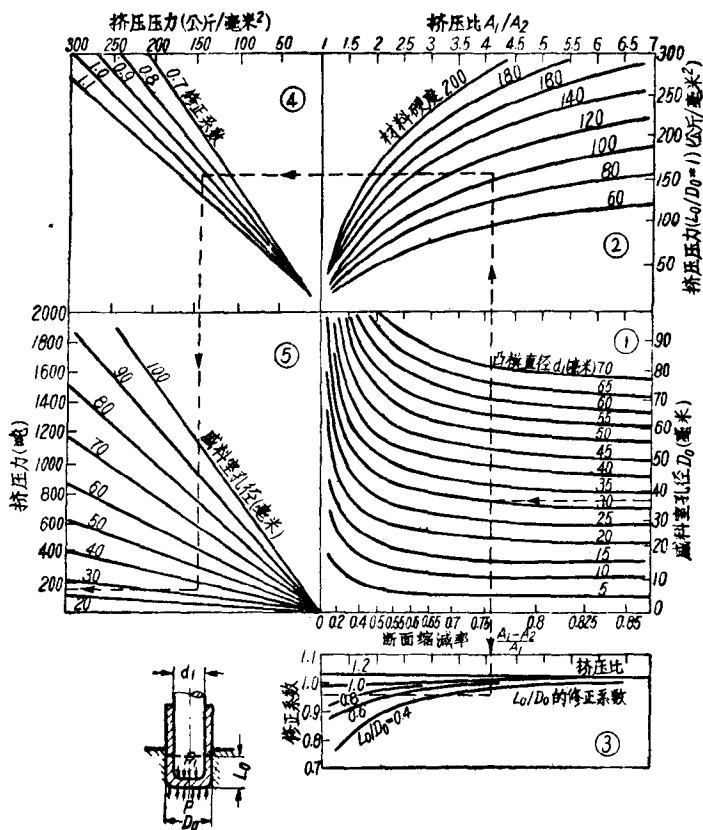


图 4

第①格内的垂直线与上面横坐标相交，得挤压比为4.1（此数也不必读出），再向上与第②格内材料硬度为105的曲线（估计）相交，从交点作水平线进入第④格，与修正系数为0.95（此数从第③格内读出）的（估计）曲线相交，从交点作垂直线向下，在横坐标上读得挤压压力为145公斤/毫米²；垂线再向下进

入第⑤格，与盛料室孔径为 $\phi 35$ 的（估计）曲线相交，引出水平线读出挤压力为 140 吨。

注意第①格内的曲线右半部分近似水平，故这部分的断面缩减率或挤压比读数不易准确，因此可以用计算方法求出断面缩减率或挤压比，然后再用图表。

如果坯料硬度尚未知道，可以用计算的方法求得挤压力。

设： F ——挤压力，吨；

p ——单位挤压压力（正挤或反挤，公斤/毫米²）；
（ p —正挤凸模压力）

p_1 ——反挤凸模压力（公斤/毫米²）；

A_1 ——坯料断面面积（毫米²）；

A_2 ——挤后工件断面面积（毫米²）；

R ——挤压比 $= \frac{A_1}{A_2}$ ；

ε ——断面缩减率 $= \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100\%$ ；

L_0 ——坯料高度（毫米）；

D_0 ——坯料外径（毫米）；

2α ——正挤凹模锥角度数（度）；

C_1, C_2, C_3, C_4 ——系数；

$$p = C_1 \cdot C_2 (C_3 \lg R + C_4) \quad (1)$$

$$p_1 = \frac{p}{1 - \frac{1}{R}} \quad (2)$$

$$F = \frac{p \cdot A_1}{1000} \quad (3)$$

系数 C_1, C_2, C_3, C_4 的值，按表 2~4 求得。

表2 实心坯料正挤的系数 $C_1 \sim C_4$

$\frac{L_0}{D_0}$	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0	
C_1	0.85	0.9	0.95	1	1.05	1.1	1.2	1.3	1.4	
2α	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°	150°
C_2	1	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25	1.3	1.35	1.38	1.43
工件材料	08		15		15Cr		15CrMn		20CrMn 35	
C_3	186		193		207		223		244	
C_4	0		10		10		10		10	

表3 空心坯料正挤的系数 $C_1 \sim C_4$

$\frac{L_0}{D_0}$	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0
C_1	0.89	0.92	0.93	1.0	1.04	1.1	1.2	1.3	1.4
2α	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140° 150°
C_2	1	1.03	1.09	1.15	1.21	1.29	1.38	1.46	1.55 1.65
工件材料	08		15		15Cr		15CrMn		20CrMn 35
C_3	138		145		150		161		161
C_4	18		30		33		35		43

表 4 实心坯料反挤的系数 $C_1 \sim C_4$

$\frac{L_0}{D_0}$	C_1	D_0	$\phi 20$	$\phi 40$	$\phi 60$	$\phi 80$	$\phi 100$	$\phi 120$	$\phi 140$
1	1	C_2	1.01	0.985	0.96	0.935	0.91	0.885	0.865
0.8	$C_1=0.97+0.00033\varepsilon$	工件 材料	08	15	15Cr	15CrMn	20CrMn 35		
0.6	$C_1=0.92+0.00058\varepsilon$								
0.5	$C_1=0.89+0.00067\varepsilon$	C_3	212	234	234	241	257		
0.4	$C_1=0.83+0.0012\varepsilon$								
0.3	$C_1=0.75+0.0018\varepsilon$	C_4	20	25	30	35	35		
0.25	$C_1=0.68+0.0022\varepsilon$								
0.2	$C_1=0.64+0.0023\varepsilon$								

倒牙反挤压力,按上述公式计算如下:

$$\frac{L_0}{D_0} = \frac{11}{35} = 0.3$$

$$\varepsilon = \frac{\frac{\pi}{4} \times 30^2}{\frac{\pi}{4} \times 35^2} = 0.735 = 73.5\%$$

$$C_1 = 0.75 + 0.0018\varepsilon = 0.75 + 0.0018 \times 73.5 = 0.88$$

$$C_2 = 0.99$$

$$C_3 = 234$$

$$C_4 = 25 \text{ (} B_2 \text{ 的含碳量接近 15 号钢)}$$

$$R = \frac{A_1}{A_2} = \frac{\frac{\pi}{4} \times 35^2}{\frac{\pi}{4} (35^2 - 30^2)} = 3.77$$

$$\lg R = \lg 3.77 = 0.576$$

$$p = 0.88 \times 0.99 (234 \times 0.576 + 26) = 140 \text{ 公斤/毫米}^2$$

$$F = \frac{p \cdot A_1}{1000} = \frac{140 \times \frac{\pi}{4} \times 35^2}{1000} = 135 \text{ 吨}$$

在倒牙冷挤过程中, $\phi 35$ 坯料镦粗成为 $\phi 40$, 镦粗的单位压力, 可按表 5 选择。

表 5 镦粗单位压力

工 件 材 料	镦粗单位压力 (公斤/毫米 ²)	
	不 用 模 具	用 模 具
碳钢 $C \leq 0.1\%$	50~70	100~160
碳钢 $C = 0.3\%$	80~100	160~200
碳钢、合金钢 $C = 0.5\%$	100~150	180~250

冷镦力 $F' = \frac{\pi}{4} \times 40^2 \times 160 = 200$ 吨。

冷镦力 $F' >$ 反挤力 F , 即以 $F' = 200$ 吨作为冷挤力。

(从压机上油压表的读数折算, 得冷挤力为 180~210 吨)

假定 200 吨压力平均分布在反挤凸模及凹模上, 则平均力为:

$$\begin{aligned}
 p_1 &= \frac{200 \times 1000}{\frac{\pi}{4} (40^2 - 35^2) + \frac{\pi}{4} \times 30^2} \\
 &= \frac{200000}{1000} = 200 \text{ 公斤/毫米}^2
 \end{aligned}$$

3. 坯料和半成品尺寸

倒牙钢碗成品尺寸要求, 见图 5。为保证成品尺寸要求, 在冷挤件直径和高度上略放余量。前面图 1 介绍的为冷挤后的半成品尺寸要求, 坯料重量经试验证实以 77~80 克为适合。

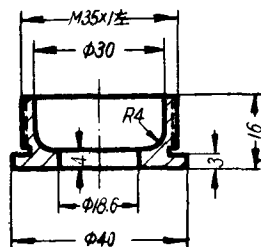


图 5 倒牙钢碗成品尺寸

四、模具工作部分的设计

1. 凹、凸模工作部分的设计

凸模和凹模是冷挤模中受力最大的关键零件。凸模、特别是反挤凸模受力最大，一般在 $200 \sim 250$ 公斤/毫米² 之间，这个数字非常接近强度最高的模具钢的屈服限。因此，为了使凸模具有合理的寿命，就必须对凸模钢材的选择、设计和制造给予周密的考虑。关于模具钢材的选择将在以后讨论，这里先谈一点凸模设计和制造问题。

凸模既要受这样大的压力，就不允许有任何应力集中现象产生，不同直径的交接必须有圆弧过渡，光滑连接，不能有刀痕和切入，表面需研磨抛光，坯料要经多方向锻造，热处理多次回

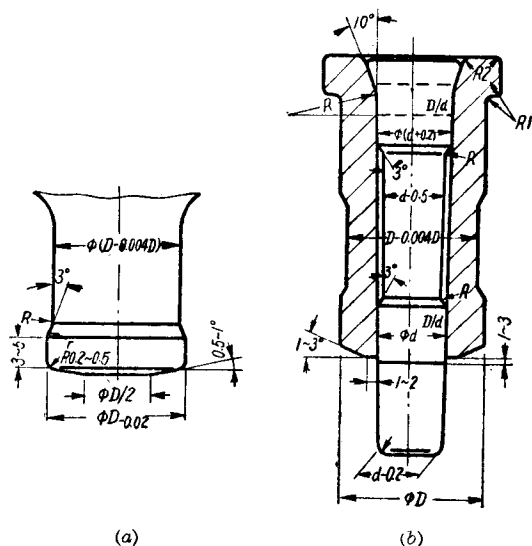
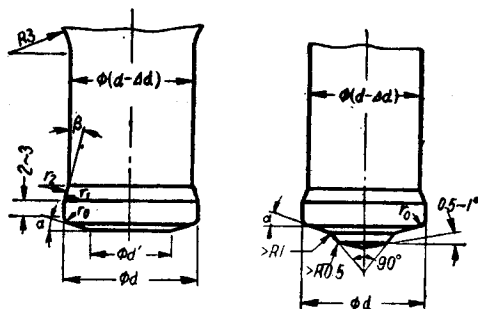


图 6

火, 控制偏析和晶粒, 使凸模有较好的强度、韧性、耐磨和回火抗力的组合。反挤凸模工作部分的长度, 一般不超过直径的 2.5~3 倍, 以避免弯曲。凸模工作部分的尺寸要求, 见图 6 和图 7。图 6 为正挤凸模工作部分结构; 图 6b 为空心件正挤凸模。而图 7 为反挤凸模工作部分结构。

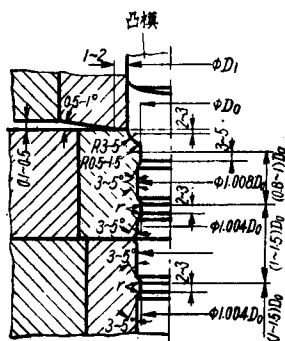


工 件 材 料	圆 角 r_0	斜角 α	端部直径 d	Δd
碳钢 $C \leq 0.25\%$	0.2~0.5 毫米	0~2°	$(0.7 \sim 1)d$	$0.008d$
碳钢 $C = 0.3 \sim 0.5\%$	0.5~1.5 毫米	2~5°	$(0.5 \sim 0.7)d$	$0.012d$
合金结构钢	1.5~3 毫米	5~7°	$(0.3 \sim 0.5)d$	$0.016d$

图 7

凹模内孔所受压力一般为 120~200 公斤/毫米², 这样大的压力没有预应力圈是难以承受的。即使用了预应力圈, 还要重视避免应力集中, 在直径变化处光滑圆弧过渡, 或把凹模分割, 采用分割凹模结构, 接合处不能大平面接触, 而只能是很狭的一圈, 其余部分车小斜度让空, 使接触面上的压力大于挤压压力, 防止材料渗入接合面。

正挤凹模的锥角 2α , 一般取 90~130°, 超过 130° 可能要发生材料死区, 小于 90° 容易因润滑破坏而产生材料粘模现象。



ϕD_0 成形, $\phi 1.004 D_0$ 矫正

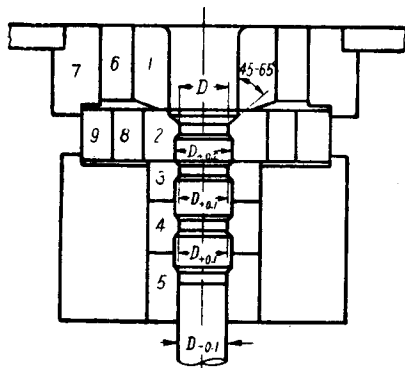
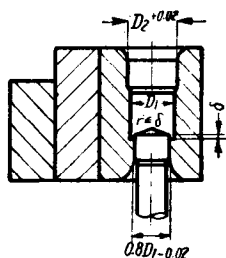
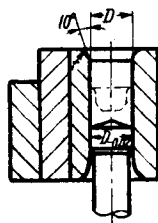
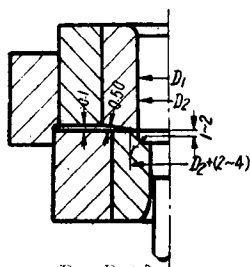


图 8

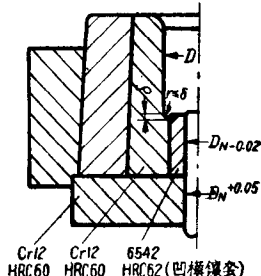
1—盛料室(HRC60); 2—凹模(HRC62); 3、4—矫正凹模(HRC62);
5—顶件器引导; 6~9—预应力圈



δ —挤压时顶杆变形量



$D_2 = D_1 + \delta$
 δ —挤压时 D_1 的弹性变形



δ —凹模镶套挤压时的变形量

图 9