

表 3-1 焦炭屑、无烟煤和木炭的物理化学性能(粉末冶金机械零件实用技术 P31)

名称	固定碳/%	硫/%	灰分/%	挥发物/%	气孔率/%
焦炭屑	75~85	0.5~1.5	8~15	3~7	30~50
无烟煤	50~90	1.0~3.0	5~9	1~5	2~4
木炭	60~80	≤0.03	0.5~5.5	10~20	70~80

表 3-2 还原铁粉的化学成分 (GB/T4136-1994)

牌号	化学分析/%								
	总铁, 不小于	杂质量, 不大于						盐酸不溶物	氢损
		Mn	Si	C	S	P			
FHY80·23	98.00	0.4	0.15	0.07	0.030	0.030	0.40	0.50	
FHY80·25	98.00	0.4	0.15	0.05	0.030	0.030	0.40	0.45	
FHY100·25	98.50	0.35	0.10	0.03	0.020	0.020	0.30	0.30	
FHY100·27	98.50	0.35	0.10	0.03	0.020	0.020	0.25	0.25	
FHY200	98.00	0.35	0.15	0.01	0.030	0.030	0.50	0.50	

注：由铁精矿粉所制铁粉的盐酸不溶物含量可有供需双方商定。

表 3-3 还原铁粉的物理、工艺性能 (GB/T4136-1994)

牌号	松装密度 /g·cm ⁻³	流动性 /s·(50g) ⁻¹ 不大于	压缩 性/ g·cm ⁻³ 不小于	筛分析/%				
				>250μm (+60目)	>180μm (+80目)	>150μm (+100目)	>75μm (+200目)	>45μm (-325目)
FHY80·23	2.20~ 2.45	38	6.40	0	≤3	余量		5~25
FHY80·25	2.45~ 2.70	35	6.45	0	≤3	余量		5~25
FHY100·25	2.40~ 2.60	35	6.60	—	0	≤	余量	5~30
FHY100·27	2.60~ 2.80	30	6.70	—	0	≤	余量	5~30
FHY200	2.00~ 2.80	—	—	—	—	—	≤	≤32

注：除 FHY200 牌号外，其余牌号铁粉小于 75μm (-200 目) 的铁粉应为 40%~60%。

表 3-4 环缝式喷嘴水雾化制取不锈钢粉的数据

喷射水压/MPa	-100 粉收得率/%	-100 目粉的粒度分布/%		
		-100/+200	-200/+300	-300
5.6	50	50	30	20
7.0	60	40	35	25
8.4	70	35	35	30
10.5	80	30	30	40
12.5	85	25	30	45

14.1	90~95	15	25	60
------	-------	----	----	----

表 3-5 我国某粉末冶金公司水雾化钢铁粉末牌号和工艺性能（粉末冶金机械零件实用技术 P49）

类别	牌号	化学成分/%										氢损/%	松装密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	流动性/ $\text{s} \cdot (50 \text{g})^{-1}$	压缩性 600MPa/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	筛分析/%				
		C \leq	Si \leq	Mn \leq	P \leq	S \leq	Cr	Ni	Mo	Co	Cu					180 ~ 200 μm	150 ~ 180 μm	75 ~ 150 μm	45 ~ 75 μm	<45 μm
水雾化纯铁粉	LAP100.28	0.0 2	0.0 5	0.15	0.01 5	0.01 5	—	—	—	—	—	0.2 0	2.75~ 2.85	33	7.06	≤ 1	≤ 10	余量	15 ~ 30	
	LAP100.29	0.0 2	0.0 5	0.15	0.01 5	0.01 5	—	—	—	—	—	0.2 0	2.85~ 3.05	30	7.06	≤ 1	≤ 10	余量	15 ~ 30	
水雾化合金钢粉	LAP100.29 A ₁	0.0 2	0.0 5	0.20	0.02 0	0.02 0	—	1.7 ~ 2.0	0.4~ 0.6	—	—	0.2 5	2.85~ 3.05	30	6.85	≤ 1	≤ 10	余量	10 ~ 30	
	LAP100.29 A ₂	0.0 2	0.0 5	0.2 ~ 0.5	0.01 5	0.01 5	0.1 ~ 0.3	0.5 ~ 0.9	0.35 ~ 0.65	0.3 ~ 0.5	≤ 0.5	0.3 0	2.85~ 3.05	30	6.80	≤ 1	≤ 10	余量	10 ~ 30	

水雾化扩散型合金钢粉	LAP100.29 D	0.0 2	0.0 5	0.15	0.01 5	0.01 5	—	0.2 ~ 0.6	0.6~ 0.9	—	1.75 ~ 2.25	0.1 5	2.90~ 3.20	28	7.10	≤1	≤10	余量	15 ~ 30
------------	----------------	----------	----------	------	-----------	-----------	---	-----------------	-------------	---	-------------------	----------	---------------	----	------	----	-----	----	---------------

表 3-6 我国某金属粉材厂水雾化钢铁粉末牌号和性能

种类	牌号	化学成分/%											[O] /%	酸 不 溶 物 /%	松 装 密 度/ g· cm ⁻³	流 动 性 / s·(50g) ⁻¹	压 缩 性/ g· cm ⁻³ /	拉 托 拉 值 /%	粒度分布/%							
		C ≤	Si ≤	Mn ≤	P ≤	S ≤	Cu	Ni	Mo	V	C o	Cr							25 0~ 18 0μm	180 ~ 150 μm	150 ~ 106 μm	106 ~ 75μ m	75 ~ 63 μm	63 ~ 45 μm	<45 μm	
纯 铁 粉	300W	0.0 2	0. 05	0.3	0. 02	0.0 2	-	-	-	-	-	-	<0. 20	<0. 15	2.85 ~ 3.05	<30	>6.8 5	<1 .0	<1	<1	10 ~ 25	15 ~ 30	5 ~ 20	8 ~ 23	20 ~ 40	
	300WH	0.0 1	0. 03	0.1 0	0. 01	0.0 1	<0. 05	<0. 05	-	-	-	-	<0. 15	<0. 10	2.85 ~ 3.05	<30	>6.9 0	<1 .0	<1	<1	10 ~ 25	15 ~ 30	5 ~ 20	8 ~ 23	15 ~ 35	
	270W	<0. 02	0. 05	0.3 0	0. 02	0.0 2	-	-	-	-	-	-	<0. 20	<0. 15	2.60 ~ 2.80	<30	>6.8 0	<0 .8	<10	<1	10 ~ 30	18 ~ 33	5 ~ 20	5 ~ 20	9 ~ 30	
低 合 金 钢 粉	预 合 金 型	1300 WA	0.0 2	0. 05	0.3 0	0. 02	0.0 2	-	1.7 0~ 2.2 0	0.4 0~ 0.6 0	-	-	-	0.2 0	<0. 15	2.85 ~ 3.10	<30	>6.7 0	<1 .5	<1	<1	10 ~ 25	15 ~ 30	5 ~ 20	8 ~ 23	20 ~ 40
		5300 WA	0.0 2	0. 05	0.3 0	0. 03	0.0 3	-	1.4 0~ 1.6 0	0.9 0~ 1.1 0	-	-	-	<0. 20	<0. 15	2.85 ~ 3.10	<30	>6.7 0	<1 .5	<1	<1	10 ~ 25	15 ~ 30	5 ~ 20	8 ~ 23	24 ~ 40
	7300	0.0	0.	0.4	0.	0.0	-	0.8	0.9	-			<0.	<0.	2.85	<30	>6.6	<1	<10	<1	10	15	5	8	10	

		WA	1	05	5~ 0.8 0	02	2		0~ 1.2 0	0~ 1.2 0				25	15	~ 3.05			.0		5	~ 30	~ 35	~ 25	~ 25	~ 30
		9270 WA	0.0 1	0. 05	0.1 0~ 0.3 0	0. 02	0.0 2	-	-	0.2 0~ 0.4 0	0.2 0~ 0.4 0			<0. 25	<0. 15	2.50 ~ 2.90	<30	>6.5	<1 .0	<10	<1 5	10 ~ 30	15 ~ 35	5 ~ 25	8 ~ 25	10 ~ 30
	扩 散 型	2300 WB	0.0 2	0. 05	0.2 0	0. 20	0.0 2	1.3 0~ 1.7 0	3.6 0~ 4.4 0	0.4 0~ 0.6 0		-	-	<0. 2	<0. 15	2.85 ~ 3.10	<30	>6.8 5	<1 .0	<1	<1 0	10 ~ 25	15 ~ 30	5 ~ 20	8 ~ 23	20 ~ 40
		4300 WB	0.0 2	0. 05	0.2 0	0. 20	0.0 2	1.3 0~ 1.7 0	5.0 ~ 7.0	0.8 0~ 1.2 0		-	-	<0. 20	<0. 15	2.85 ~ 3.10	<30	>6.8 5	<1 .0	<1	<1 0	10 ~ 25	15 ~ 30	5 ~ 20	8 ~ 23	20 ~ 40
易 切 削 钢 粉	300WS A	0.0 2	0. 05	0.1 0~ 0.3 0	0. 02	0.2 8~ 0.4 0	-	-	-		-	-	<0. 20	<0. 15	2.75 ~ 3.75	<30	>6.7 0	<1 .0	<1	<1 0	10 ~ 25	15 ~ 30	5 ~ 20	8 ~ 23	15 ~ 35	
	300WS B	0.0 2	0. 05	0.5 0~ 0.8 0	0. 04	0.3 0~ 0.3 5	-	-	-		-	-	<0. 20	<0. 15	2.75 ~ 3.10	<30	>6.6 5	<1 .0	<1	<1 0	10 ~ 25	15 ~ 30	5 ~ 20	8 ~ 23	15 ~ 35	
不 锈 钢	304L	0.0 2	0. 8	0.2	-	-	-	11. 5~ 12.	-		-	17. 5~ 18.	<0. 20	-	2.6 ~ 3.0	<30	>6.5 5	-	-	<1		6 ~ 15	15 ~ 30	5 ~ 20	10 ~ 30	20 ~ 45

粉	316L	0.0 2	0. 7	0.2	-	-	-	5 12. 0~ 14. 0	2.0 ~ 2.5 0	-	5 17. 5~ 18. 5	<0. 20	-	2.6 ~ 3.0	<30	>6.6 0	-	-	<1	6 ~ 15	15 ~ 30	5 ~ 20	10 ~ 30	20 ~ 45	
	410L	0.0 2	0. 8	0.2	-	-	-	-	-	-	11. 5~ 13. 0	<0. 20	-	2.8 ~ 3.1	<30	>6.6 0	-	-	<1	6 ~ 15	15 ~ 30	5 ~ 20	8 ~ 30	20 ~ 45	
	430L	0.0 2	0. 8	0.2	-	-	-	-	-	-	17. 5~ 18. 5	<0. 25	-	2.7 ~ 3.0	<30	>6.4 5	-	-	<1 ~ 3	6 ~ 15	12 ~ 25	5 ~ 20	10 ~ 25	30 ~ 55	
	434L	0.0 2	0. 8	0.2	-	-	-	-	1.0	-	17. 5~ 18. 5	<0. 25	-	2.7 ~ 3.0	<30	>6.4 0	-	-	<1 ~ 3	6 ~ 15	12 ~ 25	5 ~ 20	10 ~ 25	30 ~ 55	
高合金 钢粉	2260W G	1.0	-	-	-	-		Mo 5	W6	V2	C o -	Cr4	<0. 15	-	2.3 ~ 2.6	<30	>6.4 0	-	-	<1	6 ~ 15	12 ~ 25	5 ~ 20	5 ~ 20	15 ~ 35
	4260W G	1.3	-	-	-	-		3	9	3	1 0	4	<0. 15	-	2.3 ~ 2.6	<30	>6.1 5	-	-	<1	6 ~ 15	12 ~ 25	5 ~ 20	5 ~ 20	15 ~ 35
	6300W G	-	26	-	-	-		30	-	-	-	9	<0. 15	-	2.8 ~ 3.2	<30	-	-	-	<1	6 ~ 15	12 ~ 25	5 ~ 20	5 ~ 20	15 ~ 35

表 3-7 瑞典赫格纳斯 (Höganäs) 粉末公司还原铁粉牌号 (粉末冶金机械零件实用技术 P54)

用途	牌号	粒度范围 / μm	氢损 /%	C/%	松装密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	流速 / $\cdot (50\text{g})^{-1}$	压缩性/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$		生坯强度/ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$	
							420MPa	600MPa	420MPa	600MPa
含油轴承	MH80 · 23	40~200	0.30	0.08	2.30	33	6.35	6.75	20	29
细长零件	MH100 · 28	20~180	0.20	0.01	2.85	27	6.70	7.01	7	11
结构零件	NC100 · 26	20~180	0.20	<0.01	2.45	29	6.65	6.98	15	21
高密度零件	SC100 · 26	20~180	0.12	<0.01	2.65	28	6.82	7.10	11	15
摩擦材料	MH65 · 17	40~200	0.35	0.01	1.8	45	6.46	6.84	25	33
粗糙度低的零件	MH300 · 29	5~50	0.25	0.02	2.8	—	6.53	6.90	8	12

注：加 0.8%硬脂酸锌。

表 3-8 瑞典赫格纳斯水雾化铁粉的牌号 (粉末冶金机械零件实用技术 P54)

品种	近似颗粒尺寸范围/ μm	氢损/%	C/%	松装密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	流动性 / $\cdot (50\text{g})^{-1}$	压缩性/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$		生坯强度/ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$	
						420MPa	600MPa	420MPa	600MPa
AHC100 · 29	20~180	0.15	0.01	2.95	25	6.79	7.13	7	11
ASC100 · 29	20~180	0.10	<0.01	2.95	25	6.86	7.18	11	15
ABC100 · 30	30~200	0.05	<0.01	3.0	24	6.96	7.25	8	10

表 3-9 加拿大 QMP 公司水雾化铁粉 ATOMET 牌号和工艺性能 (粉末冶金机械零件实用技术 P55)

牌号	粒度范围目/%			O _总 /%	C /%	松装密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	流速 / $\cdot (50\text{g})^{-1}$	压缩性 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	生坯强度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	特点
	+100	+325	-325							
ATOMET25	3	67	30	0.20	0.03	2.52	29	6.8	6.90	生坯强度高
ATOMET29	5	73	22	0.17	0.05	2.93	26	6.8	6.95	生坯强度高
ATOMET29M	5	73	22	0.16	0.05	2.93	26	6.83	7.00	含 BN 的易切削钢粉
ATOMET1001	10	65	25	0.08	0.003	2.95	26	6.83	7.10	高纯度、高压缩性

表 3-10 QMP 的 ATOMET 铁粉压制与烧结性能 (粉末冶金机械零件实用技术 P55)

牌号	压制压力 ^① /MPa	生坯密度 ^① / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	生坯强度 ^① /MPa	抗拉强度 ^② /MPa	横向断裂强度 ^② /MPa	对阴模模腔尺寸变化 ^② /%
ATOMET25	360	6.4	13.1	448	703	-0.04
ATOMET29	455	6.7	13.8	483	897	+0.17

② ATOMET 粉末+0.75%硬脂酸锌。

② ATOMET 粉末+2.0%Cu+0.9%C+0.75%硬脂酸锌，吸热性气氛中 1120℃烧结 30min。

表 3-11 日本神户制钢水雾化铁粉牌号（粉末冶金机械零件实用技术 P55）

牌号	C/%	[O]/%	松装密度 /g·cm ⁻³	松速 s/(50g) ⁻¹	压缩性 ^① /g·cm ⁻³	磨损性 ^② /g·cm ⁻³	特点
300M	<0.02	<0.25	2.85~3.05	<30	>6.85	<	高纯度 高松装密度
300MH	<0.01	<0.20	2.85~3.05		>6.95	<	
500M	<0.02	<0.25	2.85~3.10		>6.80	<	高压缩性、高成形性 高成形性
270MA	<0.02	<0.25	2.60~2.80		>6.75	<	
250M	<0.02	<0.25	2.40~2.60		>6.70	<	
290PC	<0.01	<0.20	2.40~2.80		>6.90	—	高纯度、高压缩性 高频磁性良好
290PC-2	<0.01	<0.20	2.40~2.75		>6.95	—	

① 成型压力 490.3MPa。

② 压坯的拉托拉实验值，即磨损量，加 0.75%硬脂酸锌。

3-12 瑞典赫格纳斯公司部分水雾化低合金钢粉牌号与工艺性能

品种	近似颗粒尺寸范围/μm	氢损/%	C/%	松装密度/ g·cm ⁻³	松速 s/(50g) ⁻¹	压缩性 ^① /g·cm ⁻³		生坯强度 ^① /N·mm ⁻²	
						420MPa	600MPa	420MPa	600MPa
AstaloyA	20~80	0.15	0.01	3.25	22	6.5	6.94	6	11
AstaloyMo	20~180	0.1	<0.01	3.0	25	6.74	7.11	7	12

① 加入 0.8%硬脂酸锌。

表 3-13 加拿大魁百克公司部分水雾化低合金钢粉牌号与工艺性能

牌号	化学成分/%									松装密度/ g·cm ⁻³	流动性 /s·(50g) ⁻¹	压缩性/ g·cm ⁻³	特点
	Fe	C	O	S	P	Mn	Cr	Ni	Mo				
ATOMET4201	>98	0.004	0.10	0.009	0.012	0.28	0.05	0.45	0.60	2.92	2.6	6.92	高压缩性、高强度 粉末冶金零件 高压缩性、高强度 粉末冶金零件 烧结硬化用
ATOMET4401	>98	0.003	0.08	0.007	0.01	0.15	0.05	0.07	0.85	2.92	2.6	6.95	
ATOMET4601	>97	0.003	0.10	0.009	0.012	0.20	0.05	1.8	0.55	2.92	2.6	6.78	
ATOMET4701	余量	0.01	0.25	0.009	0.012	0.45	0.45	0.9	1.00	2.92	2.6	6.7	

① 成型压力 500MPa。

表 3-14 瑞典赫格纳斯公司部分预备合金粉牌号与应用

牌号	基体铁粉	合金成分/%			应用
		Cu	Ni	Mo	
Distaloy SA	SC100·26	1.5	1.75	0.50	一次压制达 6.9 g·cm ³ ，加入石墨后烧结抗拉强度 600MPa，可热处理
Distaloy SE	SC100·26	1.5	4.0	0.50	一次压制达 6.9 g·cm ³ ，加入石墨后烧结抗拉强度 700MPa，适用于需热处理大尺寸零件
Distaloy AB	ASC100·29	1.5	1.75	0.50	一次压制达 7.2 g·cm ³ ，加入石墨后烧结抗拉强度 650MPa，可热处理可达 1000MPa
Distaloy AE	ASC100·29	1.5	4.0	0.50	一次压制达 7.2 g·cm ³ ，加入石墨后烧结抗拉强度 750MPa，良好的淬硬性
Distaloy AF	ASC100·29	2.0	5.0	1.0	加入石墨后一次压制烧结后抗拉强度达 850MPa
Distaloy MH	ASC100·23	25			制造含 Cu 量要求高的含油轴承

Distaloy Cu	ASC100 · 24	10	制造含 Cu 量达 5% 的零件, 用 Distaloy Cu 替代普通铜粉作铜的添加剂, 减少铜偏析, 改善铜分布
DistaloyA Cu	ASC100 · 29	10	用于制造精确尺寸差的高密度结构件的 Distaloy 中, 铜偏析危险性降到最小

表 3-15 瑞典 Höganäs 公司部分不锈钢粉牌号与性能

牌号	化学成分/%			近似颗粒范围/ μm	氢损/%	C/%	松装密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	流速/ $(50\text{g})^{-1}$	压坯强度/ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$		压缩性 ^② / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	
	Cr	Ni	Mo						420Mpa	600Mpa	420Mpa	600Mpa
304L	18	12	-	10~150	0.02	0.02	2.7~3.0	29~28	4~3	7~5	6.20~6.25	6.55~6.65
310L	18	12	2.5	10~150	0.02	0.02	2.7~3.0	29~28	4~3	7~5	6.25~6.30	6.60~6.70
316LFC	18	12	2.5	100~200 ^①	0.13	0.02	2.2	48	-	-	-	-
410L	12	-	-	10~150	0.17	0.02	3.0	27	6	11	6.20	6.60
430L	18	-	-	10~150	0.22	0.02	2.9	27	6	11	6.05	6.45
434L	18	-	1	10~150	0.25	0.02	2.9	27	4	8	6.0	6.40

② 有 8 个标准品种。

② 1% H 蜡。

表 3-16 瑞典 Höganäs 粉末公司的耐磨合金钢粉牌号、成分和用途

牌号	化学成分/%										粒度范围/ μm	氢损/%	C/%	压坯强度/ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$		压缩性/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$		用途	
														1%H 蜡					
														420Mpa	600Mpa	420Mpa	600Mpa		
M2	4	5	6	2							1	余	0.1	0.90	9	17	5.9	6.40	耐磨高速钢 耐磨性较好 红硬性高 耐磨性最好的 高速钢牌 号 Laves 相合 金、作母合金 用 耐磨零件用
M311	4	5	6	3							1.25	余	0.1	1.25	9	17	5.7	6.20	
M35	4	5	6	2	5						1	余	0.1	0.95	7	13	5.7	6.20	
M42	4	3	9	3	10						1.35	余	0.1	1.35	6	13	5.65	6.15	
Cold 10	9	30				2.5						余	0.13	0.05	-	-	-	-	
AstaloyE	5	1				1	0.5	2				余	0.15	0.10	3	6	5.95	6.35	

表 3-17 电解法制造铜粉和电解精炼工艺条件

工艺条件 生产方案	铜离子浓度 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	H_2SO_4 浓度 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	电流密度 $\text{A} \cdot \text{dm}^{-2}$	电解液温度 $^{\circ}\text{C}$	槽电解/V
电解铜粉方 案 I	12~14	120~150	25	50	1.5~1.8
电解铜粉方 案 II	10	140~175	8~10	30	1.3~1.5
电解精炼致 密铜板	35~45	180~120	1.8~2.5	50~60	0.2~0.4

表 3-18 一批粉的总包装容器数和抽取包装容器数关系

一批粉的包装容器数	从中选取的包装容器	一批粉的包装容器数	从中选取的包装容器
-----------	-----------	-----------	-----------

	数		数
1~15	全部	61~99	9
6~11	5	100~149	10
12~20	6	150~199	11
21~35	7	200~199	12
36~60	8	300~399	13

表 3-19 实验结果精确度要求

氢损 ^① /%	计算结果精确到/%	两次测定结果间最大允许偏差	报出结果精确到/%
≤0.2	0.1	0.01%(绝对值)	0.01
>0.2~0.5	0.1	平均值的 5%	0.02
>0.5~1.0	0.1	平均值的 5%	0.05
>1.0	0.1	平均值的 5%	0.1

表 4-2 Kmax 与 H/D、H/T 的关系

压坯密度/ g·cm ⁻³	动摩擦系数 f	柱状压坯(包括带孔) Kmax		圆柱状压坯的 H/D		直筒状压坯的 H/T		
		单向压制	双向压制	单向压制	双向压制	单向压制	双向压制 d<T	摩擦压制 d>T
>6~6.4	0.06	8	16	2	4	4	8	8(1+d/T)
	0.08	6	12	1.5	3	3	6	6(1+d/T)
	0.10	5	10	1.25	2.5	2.5	5	5(1+d/T)
>6.4~6.8	0.06	7.5	15	1.6	3.2	3.75	7.5	7.5(1+d/T)
	0.08	5.5	11	1.4	2.8	2.75	5.5	5.5(1+d/T)
	0.10	4.5	9	1.1	2.2	2.0	4.5	4.5(1+d/T)

注: Kmax——容许的压坯的侧、正面积之比、%

f——压制过程中、粉末体对阴模型腔侧壁或芯棒表面的动摩擦系数,对于一般铁基粉末混合物(添加有硬脂酸锌) f=0.06~0.10

H——压坯高度、mm;

D——压坯直径、mm;

d——压坯孔径, mm

T——压坯壁厚, mm。

表 4-3 铁基制品相邻台面用整体模冲成形时所容许的孔隙度差

孔隙度 θ /%	约 10	10~15	16~30	>30
相邻台面所容许的孔隙度差(θ_1 θ_2) /%	1	2	3	5

表 4-4 粒度分布

粒度/ μm (目)	+180 (+80)	-180 +150 (-80+100)	-150 +160 (-100+150)	-160 +75 (-150+200)	-75 +63 (-200+230)	-63 +45 (-230+325)	-45 (-325)	
理论值	<1.0	<10.0	10.0 25.0	15.0 30.0	5.0 20.0	8.0 23.0	20.0 40.0	100
厂家一	0.0	15.8	32.3	19.5	11.5	7.5	13	99.6
厂家二	0.0	9.3	36.3	18.4	11.3	9.3	15.3	99.9
厂家三	0.3	13.7	33.8	15.8	12.5	6.5	16.5	99.1

表 4-5 硬脂酸锌的技术要求

锌含量	水分	游离子	熔点	粒度	外观
10.2%~11.2%	<0.2%	<0.5%	>120℃	-200 目	白色

表 4-6 石墨的技术要求

组成/%				粒度	形状	颜色
灰分	夹杂物	硫	挥发物			
<5	<0.8	<0.2	<1	-200 目	鳞片状	银灰色

表 5-2 铁基制品的密度分类

类别	密度 g·cm ⁻³	孔隙度/%	压制压力/MPa	制造工艺方法
低密度	5.6~6.2	>20	<450	一次压制
中密度	6.2~6.8	10~20	450~588	一次压制
较高密度	6.8~7.4	6~12	>588	一次压制; 复压复烧; 温压; 熔渗; 液相烧结
高密度	>7.4	<6		液相烧结; 熔渗或热锻

表 5-3 烧结金属制品普通尺寸容许差 (JIS B0411) 单位: mm

等级 尺寸范围	径向			轴向		
	精密级	中级	粗级	精密级	中级	粗级
<6	±0.05	±0.1	±0.2	±0.1	±0.2	±0.6
6~30	±0.1	±0.2	±0.5	±0.2	±0.5	±1.0
30~120	±0.15	±0.3	±0.8	±0.3	±0.8	±1.8
120~315	±0.2	±0.5	±1.2			

表 5-4 Fe-C-Cu 系烧结零件内、外径和高度的尺寸精度 单位: mm

压机类别	生产工艺	外径 ∅ 20~30	内径 ∅ 5~15	高度		
				10 以下	20 以下	30 以下
400KN	烧结后	0.06~0.12	0.04~0.08	0.10~0.30	0.10~0.30	0.15~0.40
	烧结+水蒸气处理	0.07~0.13	0.05~0.08	0.12~0.32	0.15~0.35	0.02~0.42
	烧结+热处理	0.10~0.18	0.07~0.12	0.14~0.35	0.14~0.35	0.02~0.45
	烧结+精整	0.03~0.06	0.02~0.03	0.06~0.30	0.06~0.30	0.10~0.40

	烧结+精整+水蒸气处理	0.04~0.07	0.03~0.05	0.06~0.30	0.06~0.30	0.10~0.40
	烧结+精整+热处理	0.06~0.12	0.04~0.10	0.10~0.30	0.10~0.30	0.15~0.40
压机类别	生产工艺	外径 $\varnothing 50\sim 80$	内径 $\varnothing 10\sim 30$	高度		
				10 以下	20 以下	30 以下
2000KN	烧结后	0.09~0.24	0.06~0.12	0.10~0.40	0.10~0.40	0.15~0.50
	烧结+水蒸气处理	0.10~0.26	0.11~0.42	0.11~0.42	0.11~0.42	0.16~0.52
	烧结+热处理	0.14~0.33	0.14~0.45	0.14~0.45	0.15~0.46	0.20~0.56
	烧结+精整	0.05~0.10	0.06~0.40	0.06~0.40	0.06~0.40	0.10~0.50
	烧结+精整+水蒸气处理	0.05~0.12	0.06~0.40	0.06~0.40	0.10~0.40	0.12~0.50
	烧结+精整+热处理	0.12~0.24	0.10~0.40	0.10~0.40	0.10~0.40	0.14~0.50
压机类别	生产工艺	外径 $\varnothing 100\sim 150$	内径 $\varnothing 20\sim 50$	高度		
				10 以下	20 以下	30 以下
5000KN	烧结后	0.15~0.40	0.08~0.20	0.20~0.40	0.20~0.40	0.25~0.60
	烧结+水蒸气处理	0.18~0.45	0.09~0.22	0.22~0.42	0.22~0.42	0.27~0.62
	烧结+热处理	0.25~0.55	0.14~0.28	0.24~0.45	0.25~0.46	0.30~0.66
	烧结+精整	0.07~0.16	0.04~0.10	0.15~0.40	0.15~0.40	0.20~0.60
	烧结+精整+水蒸气处理	0.08~0.20	0.05~0.12	0.16~0.40	0.16~0.40	0.20~0.60
	烧结+精整+热处理	0.15~0.35	0.08	0.20~0.40	0.20~0.40	0.24~0.60

注：成分（质量分数，%）Fe-（1.5~2）Cu-（0.5~0.8）C，密度 $6.6\sim 6.8\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

表 5-5 精整方式对常用铁基与铜基制品径向尺寸精度的影响举例 单位：mm

外径尺寸 精整方式	尺寸精度			
	$>\varnothing 10\sim 18$	$>\varnothing 18\sim 30$	$>\varnothing 30\sim 50$	$>\varnothing 50\sim 80$
单整外径（外径公差）	0.027~0.035	0.033~0.045	0.039~0.050	0.046~0.060
单整内径（内径公差）	0.027~0.035	0.033~0.045	0.039~0.050	0.046~0.060
整内，外径（内，外径公差）	0.019~0.027	0.023~0.033	0.027~0.039	0.030~0.046
合精整（内，外径公差）	0.011~0.019	0.013~0.023	0.015~0.027	0.018~0.030

表 5-6 几种粉末冶金制品的典型径向尺寸的公差 单位：mm

材料	烧结态	精整态	热处理态
黄铜	± 0.089	± 0.013	—
铝	± 0.051	± 0.013	± 0.013
铁	± 0.025	± 0.013	—
铁-铜合金	± 0.025	± 0.025	± 0.038
不锈钢	± 0.038	± 0.025	± 0.038
铜钢	± 0.038	± 0.025	± 0.038
镍钢	± 0.025	± 0.013	—

表 5-7 Fe-Cu-C 系烧结零件的径向跳动和平行度 单位：mm

压机类别	工艺	外径	径向跳动	平行度
400KN	烧结后	$\varnothing 20\sim 30$	0.04~0.08	0.03~0.10
	烧结+水蒸气处理		0.04~0.8	0.03~0.10

	烧结+热处理		0.06~0.12	0.05~0.12
	烧结+精整		0.03~0.08	0.02~0.08
	烧结+精整+水蒸气处理		0.03~0.08	0.03~0.08
	烧结+精整+热处理		0.05~0.12	0.05~0.10
2000KN	烧结后	∅50~80	0.08~0.12	0.05~0.15
	烧结+水蒸气处理		0.08~0.12	0.05~0.15
	烧结+热处理		0.10~0.18	0.08~0.15
	烧结+精整		0.06~0.12	0.04~0.10
	烧结+精整+水蒸气处理		0.06~0.12	0.05~0.10
	烧结+精整+热处理		0.08~0.15	0.06~0.14
5000KN	烧结后	∅100~150	0.12~0.17	0.08~0.20
	烧结+水蒸气处理		0.12~0.17	0.08~0.20
	烧结+热处理		0.16~0.22	0.14~0.25
	烧结+精整		0.08~0.17	0.06~0.15
	烧结+精整+水蒸气处理		0.08~0.17	0.07~0.15
	烧结+精整+热处理		0.12~0.20	0.08~0.20

表 7-2 送粉机构主要零件的材料及技术要求

名称	材料	热处理要求	表面粗糙度
凸轮	20 钢	20 钢渗碳渗火 55~60HRC	工作面 $R_a1.25$
滚轮	45 钢	45~50HRC	工作面 $R_a1.25\sim2.5$
导板	45 钢	45~50HRC	工作面 $R_a1.25$
料斗	HT18-36, 黄铜	—	工作面 $R_a0.63\sim1.25$
导料管	塑料管, 蛇皮管	—	—

表 10-1 铁基、铜基粉末的松装密度

粉末种类	松装密度/ $g \cdot cm^{-3}$		粉末种类	松装密度/ $g \cdot cm^{-3}$	
	范围	常用值		范围	常用值
电解粉末	1.8~2.2	2.0	雾化 6-6-3 青	2.4~3.1	2.7
还原粉末	2.0~2.8	2.4	铜电解铜粉	1.7~1.9	1.8
雾化粉末	2.5~3.2	2.8			

表 10-2 铁基、铜基粉末的回弹率 e

材料 \ 回弹率/%	压坯密度/ g · cm	>5.6~6.0	>6.0~6.4	>6.4~6.8	>6.8~7.2	>7.2~7.6
	铁基压坯	0.1~0.2	0.15~0.25	0.2~0.3	0.25~0.35	—
	6-6-3 青铜压坯	—	0.05~0.15	0.1~0.2	0.15~0.25	0.2~0.3
	铜压坯	—	—	0.08~0.12	0.1~0.2	0.15~0.25

表 10-3 铁、铜基压坯的烧结收缩率 c

成分	密度/g · cm ⁻³	C/%	工艺条件
Fe	>5.6~6.0	0.24~0.40	烧结温度 1080~1150℃
	>6.0~6.4	0.10~0.30	
	>6.4~6.8	0.05~0.15	
	>6.8~7.2	0~0.10	
Fe- (0.5~0.8) C	>5.6~6.0	0.30~0.50	烧结温度 1080~1120℃
	>6.0~6.4	0.20~0.40	
	>6.4~6.8	0.10~0.30	
	>6.8~7.2	0.05~0.15	
Fe- (1~3) Cu- (0.5~0.8) C	>5.6~6.0	0.10~0.30	烧结温度 1080~1150℃
	>6.0~6.4	0.10~0.20	
	>6.4~6.8	0.05~0.15	
	>6.8~7.2	0~0.10	
Fe-2.5Cu- (0.6~0.9) C- (1~3) Ni	>6.0~6.4	0.20~0.30	烧结温度 1150~1200℃
	>6.4~6.8	0.15~0.25	
	>>6.8~7.2	0.10~0.25	
6-6-3 青铜	>6.5~7.1	1.2~2.0	烧结温度 780~830℃

表 10-4 外箍内时的精整余量和回弹量

外径与内径 之比 D/d	壁厚 T/mm	外径		外径	
		精整余量 $\Delta_{外}$ /mm	回弹量 $\delta_{外}$ /mm	精整余量 $\Delta_{内}$ /mm	精整余量 $\Delta_{内}$ /mm
<1.5	<5	0.05~0.10	0.01~0.02	±0.02	0.015~0.025

表 10-5 内胀外时的精整余量和回弹量

外径与内径 之比 D/d	壁厚 T/mm	外径		外径	
		精整余量 $\Delta_{内}$ /mm	回弹量 $\delta_{内}$ /mm	精整余量 $\Delta_{外}$ /mm	精整余量 $\Delta_{外}$ /mm
<1.5	<5	0.05~0.10	0.01~0.02	±0.02	0.015~0.025

表 10-6 外箍内胀时的精整余量和回弹量

壁厚 T/mm	外径		外径	
	整形余量 $\Delta_{内}$ /mm	回弹量 $\delta_{外}$ /mm	整形余量 $\Delta_{内}$ /mm	回弹量 $\delta_{内}$ /mm
>3~5	0.04~0.06	0.005~0.015	0.02~0.04	<0.010
>5~7.5	0.05~0.08	0.006~0.016	0.03~0.06	0.005~0.015
>7.5~10	0.06~0.10	0.010~0.020	0.04~0.08	0.008~0.016

>10~15	0.08~0.14	0.015~0.025	0.06~0.10	0.010~0.020
>15	0.10~0.20	0.020~0.040	0.08~0.12	0.015~0.030

表 10-7 全精整的压下率、精整余量率及回弹率

材料	精整后密度/ $g \cdot cm^{-3}$	压下率 g/%	精整余量率 q/%		回弹率 i/%
			内径	外径	
Fe	>6.0~6.4	8~12	0.12~0.16	0.16~0.20	0.08~0.12
	>6.4~6.8	6~10	0.14~0.18	0.18~0.22	0.13~0.17
	>6.8~7.2	4~8	0.16~0.20	0.20~0.24	0.18~0.22
Fe- (0.3~0.6) C	>6.0~6.4	4~8	0.04~0.08	0.08~0.12	0.06~0.10
	>6.4~6.8	3~7	0.06~0.10	0.10~0.14	0.08~0.12
	>6.8~7.2	2~6	0.06~0.12	0.14~0.18	0.10~0.14
Fe- (0.3~0.6) C- (1~4) Cu	>6.0~6.4	3.5~7.5	0.04~0.08	0.06~0.10	0.06~0.10
	>6.4~6.8	2.5~6.5	0.06~0.10	0.08~0.12	0.08~0.12
	>6.8~7.2	1.3~5.3	0.08~0.12	0.10~0.14	0.10~0.14
Fe-(0.3~0.6)C- (1~4) Cu- (1~5) Ni	>6.0~6.4	3~7	0.08~0.12	0.14~0.18	0.03~0.07
	>6.4~6.8	2~6	0.14~0.18	0.18~0.22	0.06~0.10
	>6.8~7.2	1~5	0.16~0.20	0.22~0.25	0.10~0.14

表 10-8 复压装模间隙 b

单位: mm

B 压件 的径向尺寸	铁基		铜基	
	外径	内径	外径	内径
≤10	0.100	0.050	0.120	0.070
>10~30	0.150	0.080	0.200	0.120
>30~50	0.200	0.120	0.250	0.150
>50	0.250	0.150	0.300	0.200

表 10-9 复压压下率 g

材料	复压后密度/ $g \cdot cm^{-3}$	复压前密度/ $g \cdot cm^{-3}$				
		>5.6~6.1		>6.1~6.5	>6.5~7.1	>7.1~7.6
		复压压下率/%				
		范围	常用值	范围	范围	范围
铁基	>6.1~6.5	12~20	15	—	—	—
	>6.5~7.1	20~30	25	15~20	—	—
铜基	>7.1~7.6	—	—	—	15~22	—
	>7.6~8.3	—	—	—	22~28	13~22

表 10-10 不精整制品的成形模具径向尺寸计算式

模具名称	计算公式	说明
阴模外径 D_m	$D_m = D_{cp}(1+c-e)$	D_{cp} ——制品外径平均尺寸
芯棒内径 d_m	$d_m = d_{cp}(1+c-e)$	d_{cp} ——制品内径平均尺寸
孔心 A_m	$A_m = A_{cp}(1+c-e)$	A_{cp} ——制品中心距平均尺寸
		C——烧结收缩率 (%) (见表 10-3)

		e 压坯压制回弹率 (%) (见表 10-2)
--	--	-------------------------

表 10-11 不同精整方式制品的模具径向尺寸计算公式

类别	模具名称			计算公式	说明	
不同 整形 方式 的 产品	通过 式 精 整	外 箍 内	精整模	阴模内径 D_r 芯棒外径 d_r	$D_r = D_{\min} - \delta_{\text{外}}$ $d_r = d_{\max} - \delta_{\text{内}}$	D_{\min} ——压坯外径最小尺寸 d_{\max} ——压坯内径最大尺寸 c ——烧结收缩率% (表 10-3) e ——压坯回弹率% (表 10-2) $\delta_{\text{外}}$ ——外径精整回弹量 (表 10-4~表 10-6) $\delta_{\text{内}}$ ——内径精整回弹量 (表 10-4~表 10-6) $\Delta_{\text{外}}$ ——外径精整余量 (表 10-4~表 10-6) $\Delta_{\text{内}}$ ——内径精整余量 (表 10-4~表 10-6) i ——全精密回弹率% (表 10-7) q ——全精密余量率% (表 10-7)
			成形模	阴模内径 D_m 芯棒外径 d_m	$D_m = D_r(1+c-e) + \Delta_{\text{外}}$ $D_m = d_r(1+c-e)$	
		内 胀 外	精整模	阴模内径 D_r 芯棒外径 d_r	$D_r = D_{\min} + \delta_{\text{外}}$ $d_r = d_{\max} \delta_{\text{内}}$	
			成形模	阴模内径 D_m 芯棒外径 d_m	$D_m = D_r(1+c-e)$ $D_m = d_r(1+c-e) - \Delta_{\text{内}}$	
		外 箍 内 胀	精整模	阴模内径 D_r 芯棒外径 d_r	$D_r = D_{\min} - \delta_{\text{外}}$ $d_r = d_{\max} + \delta_{\text{内}}$	
			成形模	阴模内径 D_m 芯棒外径 d_m	$D_m = D_r(1+c-e) + \Delta_{\text{外}}$ $D_m = d_r(1+c-e) - \Delta_{\text{内}}$	
	全 精 整	精整模		阴模内径 D_r 芯棒外径 d_r	$D_r = D_{\min}(1-i)$ $d_r = d_{\max}(1+i)$	
		成形模		阴模内径 D_m 芯棒外径 d_m	$D_m = D_r(1+c-e-q)$ $d_m = d_r(1+c-e-q)$	

表 10-12 复压制品的模具径向尺寸计算公式

类别	模具名称		计算公式	说明
复 压 产 品	复压 模具	阴模内径 D_f 芯棒外径 d_f	$D_f = D_{\min}(1+c_2-e_2)$ $D_f = d_{\max}(1+c_2+e_2)$	D_{\min} ——制品外径最小尺寸 d_{\max} ——制品内径最大尺寸 c_2 ——复压件复烧收缩率 (%) (见表 10-3) e_2 ——复压件复压回弹率 (%) (见表 10-2) c ——压坯初烧收缩率 (%) (见表 10-3) e ——压坯初压回弹率 (%) (见表 10-2) b ——装模间隙 (见表 10-8)
	初压 模具	阴模内径 D_m 芯棒外径 d_m	$D_m = D_f(1+c-e)-b$ $D_m = d_f(1+c-e)+b$	

表 10-13 模冲配合推荐种类

配合部位	配合种类	配合部位	配合种类
上模冲与阴模	$\frac{H7}{f5}$ 、 $\frac{H6}{g5}$ 、 $\frac{H7}{f6}$	模冲与芯棒	$\frac{F7}{h5}$ 、 $\frac{G6}{h5}$ 、 $\frac{F7}{h6}$
下模冲与阴模	$\frac{H7}{f5}$ 、 $\frac{H6}{g5}$ 、 $\frac{H7}{f6}$	压套及带弱边的模冲与阴模	$\frac{H7}{f5}$ 、 $\frac{F6}{h5}$

表 10-4 模冲间隙公差推荐值

模冲名义尺寸/mm	间隙/ μm	模冲名义尺寸/mm	间隙/ μm
≤ 10	10~15	50~80	21~32
10~18	12~18	80~120	25~38
18~30	15~22	120~180	28~42
30~50	18~27	—	—

表 10-5 套类和多尖角压坯的组合模具壁厚推荐表

压坯密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	>5.8~6.2	>6.2~6.4	>6.4~6.6	>6.6~6.8	>6.8~7.2
$m=D/d$	1.8~2.0	2.2~2.3	2.5~2.8	3.0~3.2	3.4~3.6
外径 D	(1.8~2.0) d	(2.2~2.3) d	(2.5~2.8) d	(3.0~3.2) d	(3.4~3.6) d
中径 $D_b=2r_b$	(1.3~1.4) d	(1.5~1.52) d	(1.5~1.52) d	(1.7~1.8) d	(1.85~1.9) d
半径过盈量 Δ	0.0007 r_b	0.00075 r_b	0.0009 r_b	0.001 r_b	0.0015 r_b

注：1.阴模为拼模结构或采用硬质合金制造者，本表不适用。

2.本表选用压制铁基压坯，其高 $h>15\text{mm}$ 。

对套类压坯， m 课取较小值。

表 10-6 阴模为拼快式或硬质合金制造的组合模具的壁厚推荐值

压坯密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	>5.8~6.2	>6.2~6.4	>6.4~6.6	>6.6~6.8	>6.8~7.2
$m=D/d$	2.0~2.4	2.5~2.7	2.8~3.0	3.2~3.4	4.5~5.0
外径 D	(2.4~2.4) d	(2.5~2.7) d	(2.8~3.0) d	(3.2~3.4) d	(4.5~5.0) d
中径 $D_b=2r_b$	(1.4~1.55) d	(1.6~1.65) d	(1.7~1.73) d	(1.8~1.84) d	(2.2~2.4) d
半径过盈量 Δ	阴模与模套均为钢材				
	0.001 r_b	0.00125 r_b	0.0015 r_b	0.002 r_b	0.0025 r_b
	阴模为硬质合金和模套为钢材				
	(0.00125~0.0009) r_b	(0.001~0.00125) r_b	(0.00125~0.0014) r_b	(0.0015~0.00175) r_b	0.002~0.00225 r_b

表 10-17 链快模具设计工艺参数

项目	设计参数				依据
材料	Fe-0.4%C-2.5%Cu-0.8%Mo				使用工况
压制密度	初压：6.2~6.6 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，复压：7.0~7.2 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$				使用工况
产品工艺	压制+预烧+复压+复烧+钻孔+热处理+磨加工				使用工况 图纸要求
工艺参数	部位 工序	内槽宽 $5_0^{+0.1}$ 长 $14.5_0^{+0.1}$	外形 长 18.5,33；宽 15,4.8 高 $15_0^{+0.1}$		图纸要求
	机加工余量/mm	—	—		加工手册
	烧结收缩率 c_2 //%	0.10	0.10		表 10-3
	装模间隙/mm	0.05,0.08	0.15,0.10		表 10-8
	高度压下率 g /%	—	—		表 10-9
	复压回弹率 e_2 /%	0.15	0.20		表 10-2
	烧结收缩率 c_1 /%	0.20	0.20		表 10-3
	压制回弹率 e_1 /%	0.15	0.20		表 10-2

表 10-18 同步器齿毂模具设计工艺参数

项目	设计参数				依据	
材料	Fe-0.6%C-1.5%Cu-2%Ni				使用工况	
压制密度	$\geq 6.8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$				使用工况	
产品工艺	压制+烧结+全精密+热处理				使用工况 图纸要求	
工艺参数	部位 工序	内形		外形		图纸要求
		孔	外形槽	外径	高	
	高度压下率 g/%	—	—	—	3	表 10-7
	精整余量率 q/%	0.22	0.22	0.16	—	表 10-7
	精整回弹率 i/%	0.10	0.10	0.12	0.15	表 10-7
	烧结收缩率 c_1 /%	0.10	0.10	0.10	0.10	表 10-3
压形回弹率 e_1 /%	0.20	0.25	0.25	0.10	表 10-2	

表 11-1 模具主要零件的材料及性能要求

零件名称	主要性能要求	材料名称及牌号		材料性能
阴模	耐磨性好， 热处理硬度 60HRC 以上	硬质合金	YG15	密度 $13 \sim 14.2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，87HRA（相当于 70HRC）以上， $\sigma_{bb} 2100 \text{ MPa}$ 以上
			YG8	密度 $14.5 \sim 14.9 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，89HRA（相当于 74HRC）以上， $\sigma_{bb} 1500 \text{ MPa}$ 以上
		钢结硬质合金	GT35	密度 $6.9 \sim 7.1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，退火：38~46HRC，淬火：69~73HRC， $\sigma_{bb} 1800 \text{ MPa}$ 以上， $\alpha 10 \text{ J/cm}^2$ 以上
			GW50	密度 $\geq 10.2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，退火：37~38HRC，淬火：68~69HRC， $\sigma_{bb} 1700 \sim 2000 \text{ MPa}$ ， $\alpha 10 \text{ J/cm}^2$ 以上
		高速钢	W18Cr4V	退火：207~285HB，淬火：62~64HRC， $\sigma_{bb} 2000 \text{ MPa}$ 以上， $\alpha 34 \text{ J/cm}^2$ 以上
			W6Mo5Cr4V2	退火：207~285HB，淬火：62HRC 以上， $\sigma_{bb} 2000 \text{ MPa}$ 以上， $\alpha 36 \text{ J/cm}^2$ 以上
		合金工具钢	GCr15	退火：179~229HB，淬火：60HRC 以上， $\sigma_{bb} 2000 \text{ MPa}$ 以上， $\alpha 26 \text{ J/cm}^2$ 以上
			9CrSi	退火：197~241HB，淬火：60HRC 以上， $\sigma_{bb} 2000 \text{ MPa}$ 以上， $\alpha 26 \text{ J/cm}^2$ 以上
Cr12 Cr12MoV	退火：207~269HB，淬火：60HRC 以上， $\sigma_{bb} 2000 \text{ MPa}$ 以上， $\alpha 40 \text{ J/cm}^2$ 以上			
芯棒	耐磨性好， 热处理硬度 HRC60~63。非 工作部分 45~50HRC	与阴模材料相同		与阴模材料性能相同
上下模冲	耐冲击性好，有一定的耐磨性。热处理硬度 56~60HRC。非	合金工具钢	GCr15， 9CrSi， 9CrWMn， Cr12， Cr12MoV	退火：200HB 左右，淬火：56~60HRC

	工作部分硬度 可适当降低			
模套	较好的韧性和 拉伸强度	中碳钢	45	28~32HRC
		合金钢	40Cr	28~32HRC

表 11-2 影响模具主要零件材料选择的主要因素

需要考虑的因素	模具主要零件			
	阴模	芯棒	模冲	模套
粉末冶金零件生产的特性	耐磨性 硬度 抗拉强度 疲劳强度 尺寸稳定性	耐磨性 硬度 疲劳强度 尺寸稳定性 非成形配合段应有足够的韧性和强度	韧性 耐磨性 疲劳强度 硬度 尺寸稳定性	抗拉强度 韧性
模具制造的特性	可机加工性能 可锻造性 热处理工艺性	可机加工性能 可锻造性 热处理工艺性	可机加工性能 可锻造性 热处理工艺性	可机加工性能 可锻造性 热处理工艺性

表 11-3 主要模具用钢的化学成分及热加工工艺参数

材料	牌号	化学成分	锻造工艺	退火工艺	淬火工艺	回火工艺
硬质合金	YG15	85%WC, 15%Co	—	—	—	—
	YG8	92%WC, 8%Co				
钢结构质合金	GT35	35%TiC, 2%Cr, 2%Mo, 0.6%C, 余为铁	升温至 700~750℃保温 (0.3min/mm), 始锻温度 1180~1220℃, 始锻温度 900~950℃	860~880℃保温 3~4h, 以 20℃/h 冷至 720℃保温 3~4h, 再以 20℃/h 冷至 600, 炉冷	预热至 800~850℃保温 30min, 加热至 960~980℃保温 (0.5min/mm), 油淬	200℃, 硬度 69~72HRC
	GW1	50%WC, 0.362%~0.63%Cr, 0.52%~0.63%Mo, 0.40%~0.45%C, 余为铁	始锻温度 1150~1200℃, 终锻温度 900~950℃	860~880℃保温 3h, 700~720℃保温 6h, 炉冷 (16~20℃/h)	缓慢预热至 820~850℃, 快速加热至 1020℃油淬 (变压器油)	200℃, 硬度 68~69HRC
高速钢	W18Cr4V	17.5%~19.0%W, 3.8%~4.4%Cr, 1.0%~1.4%V, 0.7%~0.8%C	始锻温度 1150~1200℃, 终锻温度 900~950℃	830~850℃保温 3~4h, 以 20~30℃/h 冷至 550℃后, 炉冷或空冷。硬度 ≤ 277HB	两段预热 500~600℃, 840~860℃。快速加热至 1260~1300℃油淬	540~590℃回火三次 硬度 62~64HRC

	W6Mo5 Cr4V2	5.75%~6.75%W, 3.8%~4.4%Cr, 4.5%~5.5%Mo, 1.75%~1.2%V, 0.8%~0.9%C	始锻温度 1150℃, 终锻温度 930℃	820~840℃保温 2~3h, 以 20~30℃/h 冷至 550℃, 炉冷或空 冷, 硬度≤285HB	两段预热 500~600℃, 840~860℃。快速 加热至 1210~1245℃油 淬	540~590℃ 回火三次 硬度 62~64HRC
高 合 金 工 具 钢	Cr12	11.50%~13.00%Cr , 2.00%~2.3%C	始锻温度 1000~1050℃, 终 锻温度 850~900℃	850~870℃保温, 以 30~50℃/h 冷 至 500~600℃ 后, 空冷。硬度 207~255HB	缓慢预热至 600℃, 快速加 热至 950~1000℃油冷	150~200℃ 硬度 62~65HRC
	Cr12 MoV	11.0%~12.5%Cr, 1.45%~1.70%C, 0.4%~0.6%Mo, 0.15%~0.30%V	始锻温度 1050℃, 终锻温度 850~900℃	850~870℃保温, 以 30~50℃/h 冷 至 500~600℃ 后, 空冷。硬度 207~255HB	缓慢预热至 600℃, 快速加 热至 840~860℃ 油冷	150~200℃ 硬度 62~65HRC
低 合 金 工 具 钢	CrWMn	0.9%~1.05%C, 0.8%~1.1%Mn, 0.9%~1.2%Cr, 1.2%~1.6%W	始锻温度 1050~1100℃, 终 锻温度 800~850℃, 快冷 至 650~700℃再缓 冷	700~790℃保温 2~5h, 以≤30℃ /h 冷至 500℃以 上空冷。硬度≤ 255HB	820~840℃保 温, 油冷至 150~200℃空冷	140~160℃ 硬度 63~65HRC
	GCr15	1.3%~1.65%Cr, 0.95%~1.05%C	始锻温度 1050~1100℃, 终 锻温度 800~850℃	700~790℃保温 2~5h, 以 20~30℃/h 冷至 550℃后, 炉冷或 空冷。硬度 170~207HB	缓慢预热至 600℃, 快速加 热至 830~860℃ 油冷	150~170℃ 硬度 59~64HRC
	9CrSi	1.2%~1.6%Si, 0.95%~1.25%Cr, 0.85%~0.95C	始锻温度 1050~1100℃, 终 锻温度 800~850℃	700~790℃保温 2~5h, 20~30℃/h 冷至 550℃后, 炉冷或空冷。硬 度 197~241HB	缓慢预热至 600℃, 快速加 热至 860~880℃ 油冷	150~200℃ 硬度 52~64HRC
	9CrW Mn	0.5%~0.8%W, 0.5%~0.8%Cr, 0.9%~1.2%Mn, 0.85%~0.95C	始锻温度 1050~1100℃, 终 锻温度 800~850℃	770~790℃保温 2~4h, 20~30℃/h 冷至 550℃后, 炉冷或空冷。硬 度 207~255HB	缓慢预热至 600℃, 快速加 热至 830~860℃ 油冷	150~170℃ 硬度 62~63HRC
	T10A	0.95%~1.04%C	—	750~770℃保温 1~2h, 炉冷至 500~600℃后, 空 冷, 硬度≤ 207HB	加热至 770~790℃, 以 5%盐水冷却至 200~250℃油冷	140~160℃ 回火 硬度 60~62HRC

	T8A	0.75%~0.84%C	—	740~750℃保温 1~2h, 炉冷至 500~600℃后, 空 冷, 硬度≤187HB	加热至 770~790℃, 以 5%盐水冷却至 200~250℃油冷	150℃回火 硬度 62~64HRC
合金 结构 钢	40Cr	0.37%~0.44%C, 0.8%~1.1%Cr	—	830~850℃炉冷, 硬度≤207HB	加热至 850℃油 冷	500~550℃ 回火, 28~32HRC, 250~300℃回 火, 45~50HRC
碳素 结构 钢	45	0.42%~0.5%C	—	820~840℃炉冷 至 600℃以下空 冷, 硬度≤197HB	加热至 840℃油 冷或水冷	450℃回火, 38~42HRC; 510℃回火, 254HB

表 11-4 常用电极材料的性能特点

电极材料	电火花加工性能		机械加工性能	特点
	加工稳定性	电极损耗		
钢	较差	中等	好	应注意加工的稳定性的稳定性, 常用于“钢打钢”的穿孔加工
铸铁	一般	中等	好	制造容易, 材料来源丰富
石墨	好	小	好	材质抗高温, 变形小, 重量轻, 制造容易, 细薄件刚性 好, 但机械强度较差, 质脆, 适宜做大中型电极
黄铜	好	大	尚好	制造容易, 特别适宜在中小电规准情况加工, 但电极损 耗太大
紫铜	好	较小	较差	材质质地细密, 特别适宜制造精度要求高, 较小或形状 复杂的孔德加工, 但磨削加工叫困难, 细长薄壁电极在 使用时有变形的危险
铜钨合金 银钨合金	好	小	尚好	价格较贵, 多用于深长直壁、硬质合金穿孔, 精密及有 特殊要求的加工

表 13-1 放热型气氛的组成

名称	组分含量/%					空去与甲 烷混合比
	CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	N ₂	
富放热型 气体	8~12	5~7	8~6	0.5	其余	5.5~7
贫放热型 气体	0~2	8.5~10	0~0.5	0	其余	9~10

表 13-2 天然气不完全燃烧气体的组成

混合比	放热型气体组成/%				
	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂
6	14.5	10	5	1	69.5
7	10.7	8.5	6.7	—	74.1

表 13-3 几种原料气的产气特性

原料气	混合比	产气倍数	1Kg 原料 气产气量 (标 m ³)	1Kg 原料气 需空气量 (标 m ³)	吸热型气氛组成 (体积分数) /%						
	空气/原料 气	产气/原料 气			CO ₂	O	CO	H ₂	CH ₄	H ₂ O	N ₂
甲烷 (CH ₄)	2.38	4.88	6.89	3.33	0.5	0	20	41	0.5	0.5	余
丙烷 (C ₂ H ₆)	7.14	12.64	6.43	3.64	0.5	0	24	31	0.5	0.5	余
丁烷 (C ₄ H ₁₀)	9.52	16.52	6.38	3.68	0.5	0	24.5	30	0.5	0.5	余
城市煤气	0.43				0	0	28.6	48.0	1.2	0.1	余

表 13-4 吸热型气体的组成与露点

城市煤气/空气	含量/%						露点/°C
	CH ₄	CO	CO ₂	H ₂	N ₂	水蒸气	
2.3	1.2	28.6	0	48.0	22.2	0.093	-23
2.1	0.7	28.5	0.1	47.4	23.3	0.295	-9
1.9	0.4	28.0	0.2	45.0	26.4	0.600	0
1.7	0.3	27.6	0.6	43.0	28.5	1.45	+13
1.5	0	27.2	1.0	42.2	29.6	2.31	+20

表 13-5 气氛的水蒸气含量与露点对照表

露点/°C	水蒸气		露点/°C	水蒸气	
	mg/L	%(体积分数)		mg/L	%(体积分数)
40	51.0	7.30	-25.6	0.675	0.076
30	30.2	4.18	-30	0.455	0.0503
20	17.3	2.31	-35.6	0.272	0.0294
10	9.4	1.21	-40	0.178	0.0189
0	4.8	0.60	-45.6	0.107	0.0112
-5.6	3.28	0.40	-50	0.064	0.0065
-10	2.35	0.282	-65	0.009	0.0008
-15.6	1.54	0.18			
-20	1.08	0.125	-73.3	0.002	0.0002

表 13-6 氨分解率与反应温度的关系

反应温度/°C	混合气体中氨的平衡 含量 (体积分数) /%	氨的分解率 /%	反应温度/°C	混合气体中氨的平衡 含量 (体积分数) /%	氨的分解率 /%
400	0.42	99.17	700	0.025	99.95
500	0.41	99.72	800	0.015	99.97
600	0.06	99.88	900	0.01	99.98

表 13-7 氨气与氨分解气爆炸条件值

气体名称	在空气中体积比/%	着火爆鸣温度/°C
氨气	16~25	651.2 以上
氨分解气	17~76	584.8 以上

表 13-8 促媒还原参考规程

温度/°C	保温时间/h	空速 ^① /h ⁻¹	温度/°C	保温时间/h	空速 ^① /h ⁻¹
室温~350	1	0	500~550	4~8	1000
350~400	2	500	550~600	2~4	1000
400~450	2	1000	600~650	2	1000
450~500	2~4	1000			

表 13-9 分子筛类型

型号	3A	4A	5A	10X	13X
分子筛孔径/ $\times 10^{-8}$ cm	3.2~4.2	4.2~4.7	4.9~5.5	8~9	9~10

表 13-10 铁铜基粉末冶金烧结炉常用电热丝原件材料材料成分和性能

电热原件名称 性能	0Cr ₂₅ Al ₅	0Cr ₂₇ Al ₇ Mo ₂	Cr ₂₀ Ni ₈₀	1Cr ₁₃ Al ₄	0Cr ₁₃ Mo ₆ Al ₂
化学成分 Cr	23~27	26.5~27.5	20~30	12~15	12.5~14
Al	4.5~6.5	6~7	≤0.5	3.5~5.5	5~7
Ni		≤0.6	余量	≤0.6	≤0.6
Mo		1.8~2.2			1.5~2.5
Fe		余量	≤0.1	余量	余量
工作温度 正常 /°C 最高	1050~1200 1300	1200~1300 1400	1000~1050 1150	900~950 1100	1050~1200 1300
密度/g·cm ⁻³	7.1	7.1	8.4	7.4	7.2
20°C时电阻系数/ $\Omega \cdot m$	(1.40±0.10) $\times 10^{-6}$	(1.50±0.10) $\times 10^{-6}$	(1.09±0.05) $\times 10^{-6}$	(1.26±0.08) $\times 10^{-6}$	(1.40±0.10) $\times 10^{-6}$
电阻温度系数 $\times 10^{-5}/^{\circ}C$	3~4 (20~1000°C)	0.65 (20~1200°C)	8.5 (20~1100)°C	15 (20~850°C)	7.25 (0~1000°C)
线膨胀系数 $\times 10^{-6}/^{\circ}C$	16 (20~1000°C)	16 (0~1200°C)	14 (20~1000)°C	15.4 (20~1000°C)	15.6 (0~1000°C)
热导率/W·(m·°C) ⁻¹	12.74	12.52	16.71	14.62	13.57
熔点约值/°C	1500	1520	1400	1450	1500

表 13-11 碳化硅电热元件的性能

性能	体积密度/ g·cm ⁻³	电阻系数 (1400°C)/ $\Omega \cdot m$	热导率 /W·(m·°C) ⁻¹	热膨胀系数 (20~1500°C) $\times 10^{-6}/^{\circ}C$	最高工作温 度/°C
数据	3.1~3.2	1000 $\times 10^{-6}$	23.2	5	1500

表 13-12 线状电热元件的允许单位表面积功率 (W_允)

材料	W _允 /kw·m ⁻²						
	700°C	800°C	900°C	1000°C	1100°C	1200°C	1300°C
0Cr ₂₅ Al ₅	30~37	26~32	21~26	16~20	12~15	8~10	5~7
Cr ₂₀ Ni ₈₀	25	20	15	11	5		

表 14-1 不同润滑条件下轴承的许用 PV 值

润滑条件	说明	轴承许用 PV 值/kg m cm ⁻² s ⁻¹
自润滑	摩擦面无补充润滑油的自润滑状态	5
补充润滑	滴油、油环或飞溅等补充润滑	20
充分润滑	浸泡在油中工作、或有压力供油装置	40

14-2 含不同氟化物的铁基材料特性

氟化物	含量/%	HB/kgf · mm ⁻²	孔隙度/%	折合磨损/μm · cm ⁻²		μ
				轴	轴套	
AlF ₃	3	40	26	失去工作能力	失去工作能力	—
AlF ₃	5	32	26	失去工作能力	失去工作能力	—
AlF ₃	10	20	36	失去工作能力	失去工作能力	—
AlF ₃	20	—	38	失去工作能力	失去工作能力	—
MgF ₂	3	48	20	2.23	96.9	0.49
MgF ₂	5	50	19	1.98	96.5	0.51
MgF ₂	10	57	17	1.10	176.6	0.49
MgF ₂	20	48	20	-0.50	262.9	0.55
BaF ₂	3	53	16	0.50	96.7	0.49
BaF ₂	5	60	16	0.30	143.5	0.48
BaF ₂	10	56	16	0.29	305.1	0.40
BaF ₂	20	60	19	-0.29	93.1	0.38
CaF ₂	3	56	16	0.70	101.0	0.47
CaF ₂	5	56	16	0.70	168.0	0.39
CaF ₂	10	54	19	-0.42	67.4	0.38
CaF ₂	15	54	19	-0.24	39.7	0.38
CaF ₂	20	53	19	-0.25	27.7	0.36
CaF ₂	30	50	20	-0.20	99.6	0.45

表 14-3 固体润滑剂种类

类别	说明	
软金属	Pb In Ag Au Zn Ba Sn 等	
金属化合物	金属氧化物 金属卤化物 金属硫化物 金属硒化物 金属氮化物	PbO Fe ₃ O ₄ CaF ₂ BaF ₂ CdCl ₂ CoCl ₂ CrCl ₂ NiCl ₂ CuBr ₂ CdI ₂ 等 MoS ₂ WS ₂ PbS FeS 等 WSe ₂ MoSe ₂ NbSe ₂ VSe ₂ 等 BN
金属盐	无机盐	金属磷酸盐如 Zn ₃ (PO ₄) ₂ 等 金属硫酸盐如 AgSO ₄ 、Li ₂ SO ₄ 等
	有机盐	如 Ca、Na、Mg、Al 等有机盐
其他无机物质	石墨、S、滑石、云母、玻璃等	
有机物质	蜡、固体脂肪酸和醇、联苯，各种颜料和燃料（如丹士林、酞箐），各种树脂和塑料（聚氟乙烯、尼龙、聚酰亚胺、聚氯乙烯、酚醛树脂等）等	

表 14-4 烧结 Fe 与 Fe-C 含油轴承材料的物理力学性能 (MPIF 标准 35)

材料	材料牌号 代号	化学组成 (质量分数) /%			最小值 ^①			密度 ^{②③} g · cm ⁻³	
					强度常数		含油量 (体 积分数) /%		
		元素	最小	最大	10 ³ psi	MPa		最小	最大
Fe	F-0000-K15	铁	96.2	100	15	100	21	5.6	6.0
		碳	0	0.3					
		铜	0	1.5					
		其他	0	2.0					
Fe	F-0000-K23	铁	96.2	100	23	160	17	6.0	6.4
		碳	0	0.3					
		铜	0	1.5					
		其他	0	2.0					
Fe-C	F-0005-K20	铁	99.7	99.7	20	140	21	5.6	6.0
		碳 ^③	0.3	0.6					
		铜		1.5					
		其他		2.0					
Fe-C	F-0005-K28	铁	95.6	99.7	28	190	17	6.0	6.4
		碳 ^③	0.3	0.6					
		铜	0	1.5					
		其他	0	2.0					
Fe-C	F-0008-K20	铁	95.6	99.4	20	140	21	5.6	6.0
		碳 ^③	0.6	0.9					
		铜	0	1.5					
		其他	0	2.0					
Fe-C	F-0008-K32	铁	95.6	99.4	32	220	17	6.0	6.4
		碳 ^③	0.6	0.9					
		铜	0	1.5					
		其他	0	2.0					

① 这些数据都是基于制成品材料

② 含油的, 假定油的密度为 0.875 g · cm⁻³。

③ 冶金化合

表 14-5 烧结 Fe-石墨含油轴承材料的物理力学性能 (MPIF 标准 35)

材料	材料牌号代 号	化学组成 (质量分数) /%			强度常数				含油量 (体积分 数) /%	密度 g · cm ⁻³	
					10 ³ psi		MPa				
		元素	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	
Fe-石墨	FG-0303-K10	铁	94.5	98.0	10	25	70	170	18	5.6	6.0
		石墨	2.0	3.0							
		碳	0	0.5							
		其他	0	2.0							
Fe-石墨	FG-0303-K12	铁	96.2	98.0	12	35	80	240	12	6.0	6.4
		石墨	0	3.0							
		碳	0	0.5							

		其他	0	2.0							
Fe-石墨	FG-0303-K16	铁	94.5	98.0	16	45	110	310	18	5.6	6.0
		石墨	1.5	2.5							
		碳	0.5	1.5							
		其他	0	2.0							
	FG-0303-K22	铁	94.5	98.0	22	55	150	380	12	6.0	6.4
		石墨	1.5	2.5							
		碳	0.5	1.5							
		其他	0	0							

表 14-6 S 加入量对烧结 Fe-1C-S 材料力学性能的影响

S 添加剂名称	S 加入量 (质量分数) /%	抗拉强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	硬度 HB/MPa	冲击韧性 /J · cm ⁻³
—	—	205	888	1027	3
S	0.4	337	1370	1133	5.9
S	0.8	341	1142	1279	6.0
S	1.0	336	1060	1136	5.4
S	2.0	115	666	636	1.5
FeS	0.8	403	1046	1156	8.5
FeS	2.0	296	845	1686	2.9
Cu ₂ S	0.4	417	1055	1320	5.8
ZnS	0.8	367	990	1020	6.5
MoS ₂	1.0	—	—	1100	8.0
PbS	0.4	163	540	739	2.9

表 14-7 含 S 烧结 Fe-石墨轴承材料的组成、性能与应用范围

材料	化学成分 ^① /%					极限容许值		应用范围
	C	Cu	S	P		负荷 /MPa	速度 /m · S ⁻¹	
烧结 Fe-C-S	1.0	—	0.8~1.0	—	有限润滑	50~250	2.0~4.0	用于制造拖拉机中变速器的衬套, 调速器盘和盖的衬套, 润滑机械齿轮的衬套, 这些衬套过去都是用青铜制造的 温度达 200℃时的汽车用气门导管, 铁路车辆杠杆-制动传动装置的衬套, 棉花耕耘机与播种机的衬套, 精-粗梳毛机和棉纺织机的衬套, 饲料分发器输送机的衬套等 卡车绞车衬套, 载重汽车铰链, 转动凸轮的枢纽与关节的衬垫, 在较高温度(达 500℃)下工作的汽车气门导管 丝杠车床的零件
烧结 Fe-Cu-C-S	1.5	2.5~3.0	0.4~0.8	—	有限润滑	50~80	2.0~8.0	
烧结 Fe-Cu-C-S	1.3~2.0	3.0~10.0	0.4	—	—	150~190	0.1	

烧结 Fe-C-S-P	1.5	—	0.7~1.0	0.5~0.7	有限润滑	—	—	
-------------	-----	---	---------	---------	------	---	---	--

① 余为 Fe

表 14-8 粉末冶金 Fe-Cu 轴承材料的物理力学性能 (MPIF 标准 35)

材料牌号代号	化学组成 (质量分数) /%			最小值 ^①			密度 ^② /g·cm ⁻³	
				强度常数		含油量 (体积分数) /%	最小	最大
	元素	最小	最大	10 ³ psi	MPa			
FC-0200-K20	铁	93.8	98.0	20	140	22	5.6	6
	铜	1.5	3.9					
	碳	0	0.3					
	其他	0	2.0					
FC-0200-K34	铁	93.8	98.5	34	230	17	6	6.4
	铜	1.5	3.9					
	碳	0	0.3					
	其他	0	2.0					
FC-1000-K20	铁	86.7	91.0	20	140	22	5.6	6
	铜	9.0	11.0					
	碳	0	0.3					
	其他	0	2.0					
FC-1000-K30	铁	86.7	91.0	30	210	19	5.8	6.2
	铜	9.0	11.0					
	碳	0	0.3					
	其他	0	2.0					
FC-1000-K40	铁	86.7	91.0	40	280	17	6	6.4
	铜	9.0	11					
	碳	0	0.3					
	其他	0	2					
FC-2000-K25	铁	75.7	82	25	170	22	5.6	6
	铜	18.0	22					
	碳	0	0.3					
	其他	0	2.0					
FC-2000-K30	铁	75.7	82	30	210	19	5.8	6.2
	铜	18.0	22					
	碳	0	0.3					
	其他	0	2.0					
FC-2000-K40	铁	75.7	82	40	280	17	6	6.4
	铜	18.0	22					
	碳	0	0.3					
	其他	0	2.0					

① 这些数据都是基于制成品的材料

② 含油的, 假定的密度为 0.875g·cm⁻³

表 14-9 粉末冶金 Fe-Cu-C 轴承材料的物理力学性能

材料牌号代号	化学组成 (质量分数) /%			最小值 ^①			密度 ^{①②} /g·cm ⁻³	
				强度常数		含油量		
	元素	最小	最大	10 ³ psi	MPa	(体积分数) /%	最小	最大
FC-0205-K20	铁	93.5	98.2	20	140	22	5.6	6
	铜	1.5	3.9					
	碳	0	0.3					
	其他	0	2.0					
FC-0205-K35	铁	93.5	98.2	35	240	17	6	6.4
	铜	1.5	3.9					
	碳	0	0.3					
	其他	0	2.0					
FC-0208-K25	铁	93.2	97.9	25	170	22	5.6	6
	铜	1.5	3.9					
	碳	0.6	0.9					
	其他	0	2.0					
FC-0208-K40	铁	93.2	97.9	40	280	17	6	6.4
	铜	1.5	3.9					
	碳	0.6	0.9					
	其他	0	2.0					
FC-0508-K35	铁	91.1	95.4	35	240	22	5.6	6
	铜	4.0	6.0					
	碳	0.6	0.9					
	其他	0	2					
FC-0508-K46	铁	91.1	95.4	46	320	17	6	6.4
	铜	4.0	6.0					
	碳	0.6	0.9					
	其他	0	2					
FC-2008-K44	铁	75.1	81.4	44	300	22	5.6	6
	铜	18	22					
	碳	0.6	0.9					
	其他	0	2					
FC-2008-K46	铁	75.1	81.4	46	320	17	6	6.4
	铜	18	22					
	碳	0.6	0.9					
	其他	0	2					

表 14-10 铜基含油轴承常用的金属粉末

金属粉末类别	化学成分/%						物理		
	Cu	Sn	Zn	Pb	Fe	其他	松装密度 /g·cm ⁻³	流速 /s·(50g) ⁻¹	粒度 组成
电解铜粉	>99.6						2.6~3.0	<30	全部 —

类别	合金成分	牌号标记	含油密度 /g·cm ⁻³	化学成分/%						
				Cu	Sn	Zn	Pb	Fe	C总 ^①	其他
1	6-6-青铜	FZ2170	6.6~7.2	余	5~7	5~7	2~4	<0.5	0.5~2.0	<1.5
		FZ2175	7.2~7.8							
2	锡青铜	FZ2265	6.2~6.8	余	8~11	—	—	<0.5	0.5~2.0	<1.0
		FZ2265	6.8~7.4							
3	铅青铜	FZ2365	6.3~6.9	余	6~10	<1.0	3~5	<0.5	0.5~2.0	<1.0
类别	合金成分	牌号标记	含油密度 /g·cm ⁻³	化学成分/%						
				Cu	Sn	Zn	Pb	Fe	C总 ^①	其他

									150 目
雾化锡粉		>99.6					3.4~4.4.	—	全部 — 200 目
6-6-3 雾化合金粉	余量	5~7	5~7	2~4	<0.4	<1	2.6~3.0	<40	全部 —80 目
Cu-10Sn 合金粉	Sn 9~11Cu 余量						2.3~2.7	<35	全部 — 100 目
Cu-10Sn 混合粉	Sn 9~11Cu 余量						3.0~3.5	<35	全部 — 100 目

表 14—11 青铜含油轴承合金的成分与密度

1	6-6-青铜	FZ2170	6.6~7.2	余	5~7	5~7	2~4	<0.5	0.5~2.0	<1.5
		FZ2175	7.2~7.8							
2	锡青铜	FZ2265	6.2~6.8	余	8~11	—	—	<0.5	0.5~2.0	<1.0
		FZ2265	6.8~7.4							
3	铅青铜	FZ2365	6.3~6.9	余	6~10	<1.0	3~5	<0.5	0.5~2.0	<1.0

① C 总指游离石墨量。

表 14—12 铜基含油轴承的物理力学性能

牌号标记	含油密度/g·cm ⁻³	物理力学性能		
		含油率/%	径向压溃强度 /kgf·mm ⁻²	表观硬度 (HB) ①
FZ2170	6.6~7.2	≥18	>15	20~50
FZ2175	>7.2~7.8	≥12	>20	30~60
FZ2265	6.2~6.8	≥18	>15	25~55
FZ2270	>6.8~7.4	≥12	>20	35~65
FZ2365	6.3~6.9	≥18	>15	20~50

① 在同一试件上的三点硬度值的变动范围不得超过 15 个布氏单位。

表 14-13 烧结青铜含油轴承材料的物理力学性能 (MPIF 标准 35)

材料	材料牌号	化学组成 (质量分数)			最小值①			密度 D ^{①②} _湿	
		/%			强度常数		含油量③/%	/g·cm ⁻³	
		元素	最小	最大	103psi	MPa		最小	最大
青铜 (低石墨)	CT-1000-K19	铜	87.2	90.5	19	130	24 ^⑤	6.0	6.4
		锡	9.5	10.5					
		石墨	0	0.3					
		其他 ^④	0	2.0					
	CT-1000-K26	铜	87.2	90.5	26	180	19	6.4	6.8
		锡	9.5	10.5					
		石墨	0	0.3					
		其他 ^④	0	2.0					
	CT-1000-K37	铜	87.2	90.5	37	260	9	7.2	7.6
		锡	9.5	10.5					
		石墨	0	0.3					
		其他 ^④	0	2.0					
CT-1000-K40	铜	87.2	90.5	40	280	9	7.2	7.6	
	锡	9.5	10.5						
	石墨	0	0.3						
	其他 ^④	0	2.0						
青铜 (中等石墨)	CTG-1001-K17	铜	85.7	90.0	17	120	22 ^⑥	6.0	6.4
		锡	9.5	10.5					
		石墨	0.5	1.8					
		其他 ^④	0	2.0					
	CTG-1001-K23	铜	85.7	90.0	23	160	17	6.4	6.8

		锡	9.5	10.5						
		石墨	0.5	1.8						
		其他 ^④	0	2.0						
	CTG-1001-K30		铜	85.7	90.0	30	210	9	6.8	7.2
			锡	9.5	10.5					
			石墨	0.5	1.8					
			其他 ^④	0	2.0					
	CTG-1001-K34		铜	85.7	90.0	34	230	7	7.2	7.6
			锡	9.5	10.5					
			石墨	0.5	1.8					
			其他 ^④	0	2.0					

续表

材料	材料牌号	化学组成 (质量分数)			最小值 ^①			密度 D ^{①②} _湿	
		/%			强度常数		含油量 ^③ /%	/g·cm ⁻³	
		元素	最小	最大	103psi	MPa		最小	最大
青铜(高石墨)	CTG-1004-K 10	铜	82.8	88.3	10	70	11	5.8	6.2
		锡	9.2	10.2					
		石墨	2.5	5.0					
		其他 ^④	0	2.0					
	CTG-1004-K 15	铜	82.8	88.3	15	100	⑦	6.2	6.6
		锡	9.2	10.2					
		石墨	2.5	5.0					
		其他 ^④	0	2.0					

① 这些数据都是基于制成品的材料。

② 含油的，假定油的密度为 0.876 g·cm⁻³。

③ 随着密度增高，最小含油量将减小。表中所示之值在给出的密度上限都是有效的。

④ 含 Fe 的最大值为 1%。

⑤ 最小含油量为 27%，密度范围为 5.8~6.2 g·cm⁻³，压溃常数为 105MPa。

⑥ 最小含油量为 25%，密度范围为 5.8~6.2 g·cm⁻³，压溃常数为 90MPa。

⑦ 在石墨含量 (5%) 与密度最高 (6.6 g·cm⁻³) 条件下，这种材料中仅含有微量油。在 3%石墨与 6.2~6.6 g·cm⁻³ 密度下，其含油量可能为 5%~10% (体积分数)。

表 14-14 烧结含油轴承内径尺寸偏差

内径 d	等级		
	I	II	III
≤3	$H_{6.0}^{+0.006}$	$H_{7.0}^{+0.010}$	$H_{8.0}^{+0.014}$
>3~6	$H_{6.0}^{+0.008}$	$H_{7.0}^{+0.012}$	$H_{8.0}^{+0.018}$
>6~10	$H_{6.0}^{+0.009}$	$H_{7.0}^{+0.015}$	$H_{8.0}^{+0.022}$

>10~18	$H_{6.0}^{+0.011}$	$H_{7.0}^{+0.018}$	$H_{8.0}^{+0.027}$
>18	$H_{6.0}^{+0.013}$	$H_{7.0}^{+0.021}$	$H_{8.0}^{+0.033}$

表 14-15 烧结含油轴承同轴度及公差规定

内径 d	等级		
	I	II	III
≥ 10	0.015	0.030	0.060
<10	0.025	0.050	0.100

表 14-16 二次压制烧结法和热压法铅青铜石墨材料的性能

铅锡青铜 (5%Pb)	石墨含量 (质量分 数) /%	抗拉极限强 度/MPa	压溃强度 /MPa	硬度 HB/MPa	磨损系数
二次压制烧结法	8	203	134	350	6
热压法	9	225	155	650	6

表 14-7 铜铅合金与铅青铜抗拉强度极限和硬度

化学成分 (质量分数) /%			σ_b /MPa	HV/MPa
Cu	Pb	Sn		
60	40	—	64	320
70	30	—	78	370
74	22	4	109	500
80	10	10	164	700

表 14-18 不同方法制造的铜铅合金性能到的比较

制造方法	日本大同金属工业 (株) 材料代号	σ_b /MPa	HV (50N)
离心铸造	KC30	120	33
铜—烧结铜铅合金	KS30	145	45

表 14-9 不同方法制造的铜铅合金耐磨性比较

制造方法	主轴瓦		连杆电	
	磨损值/mm	磨损量/g	磨损值/mm	磨损量/g
离心铸造	0.291	1.82	0.015	1.32
铜—烧结铜铅合金	0.015	0.87	0.007	0.43

表 14-20 烧结钢—铜铅合金双金属带材的性能与应用

材料规格		名义化学组成 /%	性能	应用
SAF ^①	ISO ^②			

792	CuPb10Sn10	80.0Cu 10.0Sn 10.0Pb	高的物理性能，优异的耐冲击性和抗振性，高的负荷能力，好的耐磨性	活塞销，转向，履带支重轮，缸体，摇臂轴，轴的衬套，耐磨板，高冲击止推垫圈（用于硬轴的）
798		84.0Cu 4.0Sn 8.0Pb 4.0(最大)Zn	抗振性，负荷能力及耐蚀性好，物理强度稍低于 SAE792	一般用于衬套材料，弹簧眼，摇臂，通用衬套（用于硬轴）
799	CuPb24Sn4	72.0Cu 3.5Sn 23.0Pb 3.0(最大)Zn	兼有好的摩擦性能，嵌入性，相容性及中等负荷能力，可承受较高的表面速度和负荷	重负荷凸轮轴，电动机，自动变速箱，液压泵，齿轮变速器的轴承
480		65.0Cu 35.0Pb	好的摩擦性能，润滑性，顺应性，比巴氏合金耐疲劳	泵，小型电动机，非腐蚀环境的轴承
482		65.0Cu 38.0Sn 7.0Sn	好的疲劳性能，顺应性及耐蚀性	中等负荷发动机，泵的轴承
49 ^③	CuPb24Sn	74.5Cu 24.5Sn 1.0Sn	很高的疲劳性能和很好的耐蚀性	重负荷发动机，泵，压缩机的软轴与硬轴用轴承
H-116 ^③	CuPb24Sn24	73.0Cu 23.75Sn 3.25Sn	较高的疲劳性能和很好的耐蚀性	主要用于要求最高负荷和耐久性的重负载发动机（硬轴）的轴承
H-14 ^④		83.0Cu 14.0Sn 3.0Sn	疲劳性能最高，较好的耐蚀性	柴油机的最高负荷能力（硬轴）处的轴承

① SAE 是美国汽车工程协会的缩写。

② ISO 是国际标准组织的缩写。

③ 是 Federal Mogul 的材料代号。

④ SAE49、H-116、H-14 都是有表面镀层的铜铅合金材料。

表 15-1 粉末冶金工艺和传统锻造一切削加工法制造摩托车离合器主动齿轮的工时和材料利用率比较

粉末冶金工艺			锻造一切削加工工艺		
工序	单件所需工时	50000 件需工时	工序	单件所需工时	50000 件需工时
压制成形	0.35min	292h	锻造	0.2min	167h
烧结		208h	粗车	3.3 min	2750h
精整	0.35 min	292h	精车	2.7 min	2250h
(500t 压机)			精镗孔	1.0 min	833h
高频淬火	0.15 min	125h	切齿	2.0 min	1667h
			剃齿	0.5 min	417h
			软氮化处理		175h
合计		917h	合计		8259h
材料利用率		100%	材料利用率	25%	

表 15-2 FHY100.25 还原铁粉在不同压制压力的压坯密度和压坯强度的数据

压制压力/tf · cm ⁻²	压坯密度/g · cm ⁻³	压坯强度/kg · cm ⁻²
4.2	6.5	161.7
5.6	6.7	211.0
7.0	6.9	246.0

表 15-3 石墨加入量对材料密度和力学性能的影响

工艺条件和力学性能	不加石墨		加入 1%石墨	
	初压压力 tf · cm ⁻²	5.6	7.0	5.6
复压压力 tf · cm ⁻²	5.6	7.0	5.6	7.0
复压密度 g · cm ⁻³	7.24	7.44	7.07	7.18
抗拉强度σ _b /kgf · mm	35.4	38	61.9	68.8
延伸率δ /%	10.8	12.0	2.7	3.3

注：1 kgf · mm⁻²=9.8MPa, 1 cm⁻²=9.8 × 10³MPa

表 15-4 常用的复压复烧材料性能

化学成分/%	密度/g·cm ⁻³	抗拉强度/kgf·mm	延伸率/%	表现硬度 (HB)
Fe+1.1C	7.25	50	2~3	193
Fe+1.1C+2.5Cu	7.2	81	1~2	213
Fe+1.1C+5Cu	7.25	61	0.5~1	219
Fe+2.5Cu	7.35	33	5~10	92
Fe+5Cu	7.2	34	3~6	93
Fe+7.5Cu	7.05	35	1.5~3	98
Fe+5Ni	7.45	38	9~10	114
Fe+2Cu+5Ni	7.35	44	3.5~5	140

注：工艺条件为初压压力 6tf/cm³，预烧温度 850℃，复烧温度 1150℃。

表 15-5 DISTALOY AE+0.5% C 预烧工艺参数和尺寸变化

初压压制压力/MPa	400		600	
	预烧温度 (20min)	750	850	750
尺寸变化/%	-0.07	-0.09	-0.05	-0.10
预烧坯硬度 (HV ₁₀)	51	70	63	80

表 15-6 DISTALOY AE+0.5% C 复压和烧结工艺参数及性能

初压压制压力/MPa	400				600			
	750		850		750		850	
预烧温度 (20min)	600	800	600	800	600	800	600	800
复压压力/MPa	600	800	600	800	600	800	600	800
烧结/℃	1120℃				20min		90N ₂ /10H ₂	
烧结后密度/g·cm ⁻³	7.32	7.48	7.16	7.35	7.40	7.53	7.31	7.43
抗拉强度/N·mm	750	837	698	799	782	839	661	836
屈服强度/N·mm	379	409	354	395	388	403	376	389
延伸率/%	3.4	3.8	2.8	3.5	3.2	3.8	3.2	3.9
硬度 (HV ₁₀)	226	247	206	230	223	249	229	239

尺寸变化/%	+0.0	+0.1	-0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0
--------	------	------	------	------	------	------	------	------

表 15-7 DISTALLOY AE+0.5% C 复压+热处理后性能

初压制压力/MPa	400	600
预烧结/°C	750°C	20min 90N ₂ /10H ₂
尺寸变化(预烧结)/%	-0.07	-0.06
复压制压力/MPa	600	800
烧结/°C	1120°C	20min 90N ₂ /10H ₂
尺寸变化(烧结)/%	+0.08	0.14
淬火处理	860°C	30min 奥氏体化 油中淬
回火处理	175°C	60min
尺寸变化(回火)/%	+0.02	+0.05
热处理后密度/g·cm ⁻³	7.31	7.51
硬度(HV ₂₀)	370	450
抗拉强度/N·mm ⁻²	1150	1380
屈服强度/N·mm ⁻²	930	1150
冲击强度/J	18	23

15-8 几种熔渗材料的力学性能

化学成分/	密度 g·cm	抗拉强度/kgf·m	延伸率/%	表现硬度 (H)	残留孔隙度
Fe+15Cu	8.02	47.8	8	74	2~3
Fe+0.25C+15	7.94	60.5	5	78	2~3
Fe+0.5C+15	7.89	65.7	4	87	2~3
Fe+0.75C+15	7.90	72.8	4	90	2~3
Fe+1.0C+15	7.69	73.5	4	93	2~3

表 15-9 不同润滑剂的最佳温压温度