

# ZG22CrMnMo铸钢及精铸前起落架

孙 方 策

ZG22CrMnMo 钢是根据部属工厂毛坯精化要求研制的一种高强度铸钢。它不仅具有与 30CrMnSiA 合金钢相当的机械性能,而且还具有良好的工艺性能。用其精铸件代替锻件制成的前起落架达到了静力试验和落震试验的技术要求。一九七〇年工厂生产了十八付装有 ZG22CrMnMo 钢精铸轮叉和旋转臂的歼击机前起落架交部队使用,经受了实际的飞行起落考验。鉴于 ZG22CrMnMo 铸钢具有良好的机械性能、工艺性能和使用性能,故值得推广使用,以便进一步扩大精铸件的应用范围,精化毛坯,节约原材料,减少机加工时和提高生产效率。为便于有关单位选用 ZG22CrMnMo 铸钢,现将其成分、工艺和性能简介如下。

## 一、合金的成分和性能

ZG22CrMnMo 钢是一种以铬、锰、钼为主加元素的低合金铸钢。结构钢精密铸件技术标准 HB 5001-73 中规定的该合金成分和性能列于表 1。由于硫、磷杂质含量较低,就使其在高强度下仍具有良好的塑性和韧性。

## 二、熔炼、铸造和热处理

ZG22CrMnMo 钢是用硫、磷杂质含量较

低的低碳钢棒作炉料,以铬铁、锰铁和钼铁为合金料,在碱性中频感应炉内熔炼的。熔剂成分为 60~70%CaO 加 30~40%CaF<sub>2</sub>,使用前经 900℃烘烤。炉料要装紧实,一旦开始熔化就加熔剂复盖,以防氧化。炉料全部化清后扒出熔渣,取样分析,加入经预热的铬铁和钼铁,并加熔剂复盖。当钢液温度升至 1560~1600℃就用金属总量 0.5~0.6%的硅钙粉,先后分 3~4 次加于渣面,然后捣渣进行扩散脱氧,使渣色由黑逐渐转变成灰白。在此精炼期间根据炉前分析结果补加低硫、磷生铁和锰铁。当钢液温度升至 1620~1640℃时,把金属总量 0.05%的铝块插入钢液进行沉淀脱氧。插铝后约 1 至 2 分钟出钢。采用茶壶形浇包,使用前烘烤到 900℃。用热电偶测温,钢液出炉温度控制在 1620~1640℃。

前起落架轮叉和旋转臂的铸造工艺为熔模精铸工艺。用石蜡硬酯酸低熔点模料制蜡模,用石英粉硅酸乙酯涂料制模壳,热水脱蜡,模壳经 900℃2 小时焙烧后使用,填砂造型浇注。

铸件和梅花形检验试棒须经 900 ± 20℃正火,随后在 680℃回火。最终热处理规范为 900 ± 10℃油淬,500~540℃回火 2 小时空冷。

表 1 合金成分和性能

化学成分, %							热 处 理	机械性能, 不小于				
C	Mn	Si	Cr	Mo	P	S		σ <sub>b</sub>	σ <sub>s</sub>	δ <sub>5</sub>	ψ	a <sub>k</sub> 公斤·米 /厘米 <sup>2</sup>
								公斤/毫米 <sup>2</sup>		%		
0.19~ 0.24	0.70~ 1.00	0.17~ 0.45	1.00~ 1.30	0.50~ 0.70	≤0.025		900°C油淬 500~540°C 回 火	120	85	10	35	5

### 三、机械、物理和工艺性能

ZG22CrMnMo 铸钢的机械性能列于表 2~5。为便于比较,将对试验中测定的 30CrMnSiA 合金钢的性能并列于表中。ZG22CrMnMo 铸钢与 30CrMnSiA 合金钢多次冲击性能对比示于图 1, 低温冲击韧性对比示于图 2, ZG22CrMnMo 钢的机械性能与回火温度的关系示于图 3。

上述性能数据表明, ZG22CrMnMo 铸钢具有良好的综合机械性能, 其常规机械性能与 30CrMnSiA 合金钢相当, 疲劳性能与 30CrMnSiA 钢相比, 光滑试样约低 21%, 缺口试样约低 13%, 而缺口敏感性则比 30CrMnSiA 钢小。

ZG22CrMnMo 钢的比重为 7.81 克/厘米<sup>3</sup>, 室温电阻率为 0.30 欧姆·毫米<sup>2</sup>/米, 导热系数列于表 6, 线膨胀系数列于表 7。

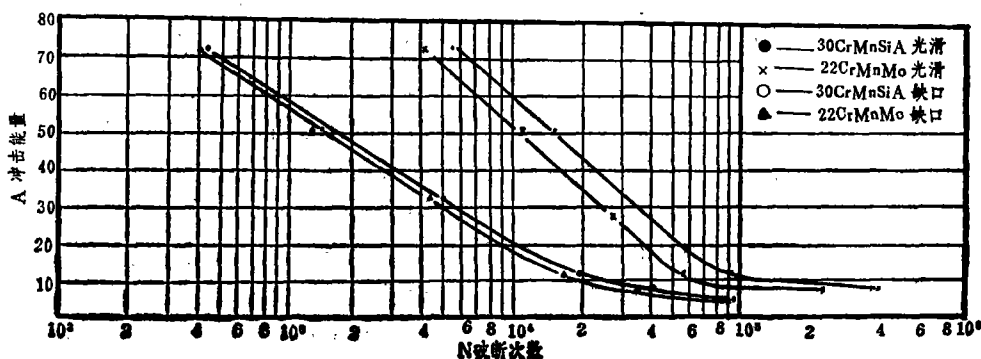


图 1 ZG22CrMnMo和30CrMnSiA 多次冲击 A-N 曲线

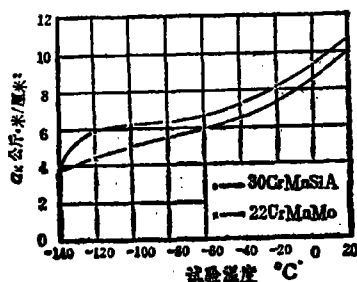


图 2 ZG22CrMnMo 和 30CrMnSiA 低温冲击韧性  
(注: 低温冲击试验是在北京钢厂进行的)

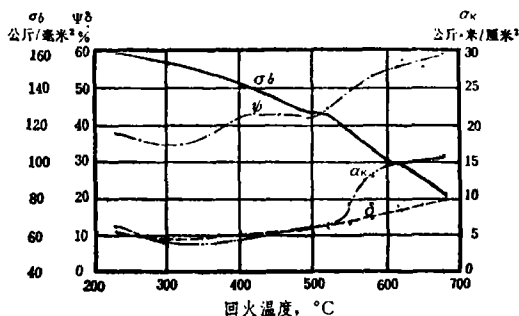


图 3 ZG22CrMnMo 机械性能与回火温度的关系

ZG22CrMnMo 铸钢具有良好的铸造工艺性能, 尤其突出的是热裂倾向性小。其焊接裂纹倾向性也很小, 属 1 级, 形状复杂的零件可以进行焊接。淬透性与 30CrMnSiA 钢相当, 对于直径为 25 毫米或壁厚为 16 毫米的零件心部可以淬透, 高温回火后缓冷无回火脆性。ZG22CrMnMo 铸钢无应力腐蚀倾向, 其氢脆敏感性比 30CrMnSiA 钢稍为大些, 除氢后相近。

### 四、使用性能及经济效果

为开展毛坯精化试验, 曾用 ZG22CrMnMo 钢精铸件代替 30CrMnSiA 钢锻件制成了前起落架轮叉和旋转臂等十项零件, 并进行了精铸前起落架的静力试验和落震试验, 结果如下。

静力试验: 各情况加载到 67% 设计载荷, 无永久变形, 加载到 100% 设计载荷未破坏, 于三点着陆情况加载到 120% 设计载荷时塑性

表 2 机 械 性 能

钢 号	E	$\sigma_b$	$\sigma_{0.2}$	$\delta_5$	$\psi$	$\alpha_k$	脆性强度	
	公斤/毫米 <sup>2</sup>	公斤/毫米 <sup>2</sup>		%		公斤·米/厘米 <sup>2</sup>	公 斤	
ZG22CrMnMo	20500	125.2	114.9	13.2	45.0	6.99	14401	
30CrMnSiA		127.5	116.5	13.6	51.8	5.51	11610	

钢 号	G	$\tau_p$	$\tau_{0.3}$	$\tau_b$	$\tau_{ap}$	$K_{Ic}$	$\sigma_{-1}$	
	公斤/毫米 <sup>2</sup>	公斤/毫米 <sup>2</sup>			公斤/毫米 <sup>2</sup>	公斤/毫米 <sup>3/2</sup>	光滑	缺 口
ZG22CrMnMo	8225	73.7	83.9	106.9	84.2	446	44	37
30CrMnSiA	8275	72.2	82.4	104.3	82.7	476	56	42

表 3 周 期 强 度

钢 号	K= $\frac{\sigma_n}{\sigma_b}$	最大应力	最小应力	频 率	总循环次数
		公斤/毫米 <sup>2</sup>		次/分	
ZG22CrMnMo	1	155.88	—	—	一次拉断
	0.7	109.12	10.91	10	3858
	0.6	93.53	9.35	10	5227
	0.5	77.94	7.79	10	8988
	0.4	62.35	6.24	10	28377
30CrMnSiA	1	161.28	—	—	一次拉断
	0.7	112.90	11.29	10	3300
	0.6	96.77	9.68	10	4791
	0.5	80.64	8.06	10	11787
	0.4	64.52	6.45	10	49630

表 4 缺 口 敏 感 性

钢 号	垫圈 斜度	缺口强度极限 $\sigma_n$ 公斤/毫米 <sup>2</sup>	强度 降低率 %
ZG22CrMnMo	0°	175.4	
	4°	156.8	10.1
	8°	107.5	38.4
30CrMnSiA	0°	173.7	
	4°	140.5	19.1
	8°	78.3	54.9

表 5 高 温 拉 伸 和 冲 击 性 能

试验温度 °C	$\sigma_b$ 公斤/毫米 <sup>2</sup>	$\delta_5$ %	$\psi$ %	$\alpha_k$ 公斤·米/厘米 <sup>2</sup>
200				7.44
250	117.1	13.7	52.5	
300	116.8	13.3	53.6	7.39
350	112.6	15.7	57.5	8.42
400	107.6	15.1	61.7	7.55
450	102.8	14.3	60.9	6.95
500	93.4	14.5	61.0	6.16
550	84.3	15.7	64.7	
600				10.91

注：表中数据为900°C油淬560°C回火2小时热处理  
状态的高温性能。

表 6 导 热 系 数

试验温度 °C	$\lambda$ 卡/厘米·秒·度
50	0.0993
100	0.0980
200	0.0952
300	0.0925
400	0.0901
450	0.0890

表 7 线 膨 胀 系 数

试验温度 °C	$\alpha \times 10^{-6}$ 毫米/米·度
20~100	11.60
20~200	12.47
20~300	13.15
20~400	13.48
20~500	13.69
20~600	14.03

变形较大,继续加载到133%设计载荷时旋转臂破坏,符合2-20A技术要求。

落震试验:经6000次投放后分解检查无异寻常现象,又继续投放到12000次所有十项精铸件均未发现裂纹,也未发生破坏。超过了落震6000次合格的技术要求。

在其静力试验和落震试验都达到了技术要求的情况下,为进一步考核这种新材料的使用性能,工厂曾于一九七〇年生产了十八付装有ZG22CrMnMo钢精铸轮叉和旋转臂的前起落架交部队使用。二年后,从部队调回二付已分别飞行317和559个起落的精铸前起落架回厂进行剩余寿命试验,它们又分别经受了12000次和14553次落震试验,精铸轮叉和旋转臂均未损坏。由一九七五年去部队调查结果表明,这

些装有ZG22CrMnMo钢精铸轮叉和旋转臂的前起落架已飞行了487~732个起落。这就说明精铸前起落架可以达到起落架保险寿命期500个飞行起落的要求。

在长期使用过程中,这种精铸前起落架也暴露出锻造前起落架上已出现过的故障——旋转臂断裂和轮叉耳片根部裂纹。由断口分析结果表明,旋转臂断裂是由于在二侧分模面部位形成的疲劳裂纹不断扩展的结果,而轮叉耳片根部裂纹也属于疲劳裂纹。这两个部位的疲劳裂纹都是在飞行起落过程中因前起落架偏摆引起的交变载荷长期反复作用造成的。这些疲劳裂纹的形成过程既和材料性能、零件壁厚、表面状态以及过渡圆角等因素有关,也和使用情况有关。对于前起落架上出现的旋转臂断裂和轮叉耳片根部裂纹可以采取下列措施加以克服:

1. 在加工过程中应严格控制零件表面光度;
2. 适当加大薄弱部位的壁厚和过渡圆角;
3. 通过喷丸强化来提高疲劳性能;
4. 改进减摆器减摆功能,降低前起落架在偏摆时所受到的交变载荷和减少交变次数。

采用精铸件代替锻件制造前起落架轮叉和旋转臂的经济效果是十分显著的。金属材料利用率可由28.3%提高到85.8%,机械加工工序由75道减少到24道,每批零件的机加辅助工时可节约64.6%,单件机加工时可节约77%。因此,采用精铸毛坯来制造前起落架就能迅速提高生产效率,增加零备件供应,满足部队战备要求。

## 五、结束语

在ZG22CrMnMo钢精铸前起落架轮叉和旋转臂试验成功后,各厂相继对支座、摇臂、减速板支臂、垫块等26项零件,采用这种铸钢的精铸件进行批生产,经受了多年的使用考验。因此,在系统试验的基础上采用精铸毛坯来制造结构复杂、加工困难的重要受力构件是可能的,其使用性能也是可靠的。