

我国热作模具钢性能数据集(续VIII)

朱宗元

(上海材料研究所,上海 200437)

中图分类号: TG142.45

文献标识码: A

文章编号: 1000-3738(2001)09-0038-05

(8) 3Cr3Mo3W2V 钢(HM1)

3Cr3Mo3W2V 钢是在 3Cr3Mo3V 钢及 3Cr3Mo3Co3V 钢的基础上调整钢的成分,增加钨含量不用价格昂贵的钴元素。该钢 85 年被列入 GB 1299 标准,具有优良的强韧性,在保持高强度和热稳定性的同时,还具有较高的抗热疲劳能力。3Cr3Mo3W2V 钢与 3Cr2W8V 钢相比,在 800~950°C 的热磨损、600°C 和 1000°C 的抗氧化、600~700°C 的冲击韧性以及锻造性能均较好。适宜制作受冲击力较大的高速镦锻机模、中小机锻模、辊锻机模,以及对热强性或抗热疲劳性能要求较高的热挤压和铝压铸模等。试样材料由首钢特殊钢公司生产,大气电炉冶炼。

1 化学成分(质量分数,%)

状态	设计成分	试样成分
C	0.32~0.42	0.36
Cr	2.80~3.30	3.00
Mo	2.50~3.00	2.74
W	1.20~1.80	1.48
V	0.80~1.20	0.95
Si	0.60~0.90	0.78
Mn	≤0.65	0.24
S	≤0.030	0.004
P	≤0.030	0.013

3Cr3Mo3W2V 钢试样的化学成分与 3Cr2W8V 钢相比碳、锰含量相同,除钨含量减少了 6.70% 外,铬、钼、钒和硅分别增加了 0.48%、2.74%、0.63% 和 0.57%。3Cr3Mo3W2V 钢试样的合金元素总量达到 9.19% 与 3Cr2W8V 钢相比减少了 2.32%。

2 物理性能

2.1 弹性模量 E (N/mm²)

温度/°C	室温	100	200	300
E	22200	21800	21300	20600

2.2 切变模量 G (N/mm²)

温度/°C	室温	100	200	300
G	8720	8580	8340	8070

2.3 弹性模量与切变模量的比值

温度/°C	室温	100	200	300	平均比值
$E: G$	2.546	2.541	2.554	2.553	2.549

2.4 热导率¹⁾ λ (W/(m·K))

温度/°C	100	400	500
λ	31.82	30.98	31.82

注:1)室温 20°C

2.5 线膨胀系数 α (mm/(mm·°C))

温度/°C	20~200	20~400	20~500	20~600	20~700
$\alpha \times 10^{-6}$	12.8	12.9	12.8	12.7	12.3

2.6 比热 C_p (J/(kg·K))

温度/°C	20~100	20~200	20~300
$C_p \times 10^3$	0.464	0.498	0.506

2.7 泊松比 μ

温度/°C	室温	100	200	300
μ	0.27	0.27	0.28	0.28

2.8 临界点°C(近似值)

Ac ₁	Ac ₃	Ar ₁	Ar ₃	Ms
850	930	780	835	373

3 试样的热加工工艺

3.1 锻造

项目	加热温度 °C	始锻温度 °C	终锻温度 °C	冷却方式
钢锭	1170~1200	1140~1170	≥900	砂或坑缓冷
钢坯	1150~1180	1120~1150	≥850	砂或坑缓冷

因 3Cr3Mo3W2V 钢在 1000°C 的伸长率有一个低谷区 δ 值为 52.3% (优于 3Cr2W8V 钢 4%), 所以在此温度需减轻打击力。与 3Cr2W8V 钢相比,二者锻造加热、始锻和终锻温度基本相当,但其 900~1100°C 的变形抗力比 3Cr2W8V 钢小,成形性好。

3.2 退火

名称	装炉方式	加热温度 ℃	保温时间 h	等温温度 ℃	保温时间 h	冷却方式 (HB)
棒材退火	<500℃入炉随炉升温	800~820	2+1min/mm	—	—	随炉冷至<500℃出炉空冷(≤240)
锻材等温退火	<500℃入炉随炉升温	860~880	1+1min/mm	730±10	2+1min/mm	随炉冷至<500℃出炉空冷(202~255)

3Cr3Mo3W2V钢与3Cr2W8V钢相比,退火加热温度约高20~30℃,等温温度基本相当,退火后硬度也基本相同。

3.3 淬火

第一次预热	第二次预热	淬火温度 ℃	保温时间 s/mm	冷却介质	硬度 HRC
箱式炉 550℃保温 时间 30min+1min/mm	盐浴炉 850℃保温时间 10min+0.5min/mm	1060±10	20~25	油	52~54

3Cr3Mo3W2V钢与3Cr2W8V钢热处理工艺相同,但比3Cr2W8V钢淬火温度降低了70℃,淬后硬度也约降低3HRC。

3.4 回火

(1) 回火温度与硬度的关系

回火温度/℃	100	200	300	400	450	500	550	600	640	700
硬度 HRC	53.0	55.5	52.5	54.0	53.0	53.5	52.5	52.0	44.5	34.0

3Cr3Mo3W2V钢经300~600℃回火,其硬度与3Cr2W8V钢基本相同。620℃时硬度为49HRC与3Cr2W8V钢640℃回火48HRC的硬度相当。但700℃回火的硬度34HRC却高于3Cr2W8V钢680℃回火硬度3HRC。

(2) 性能试样的回火工艺

要求硬度/HRC	第一次回火温度℃×保温时间 h	硬度/HRC	第二次回火温度℃×保温时间 h	硬度/HRC
47~49	610×2	50.8~51.2	630×2	48.0~48.3
42~44	650×2	46.0~48.0	655×2	44.0~44.2

3Cr3Mo3W2V钢与3Cr2W8V钢的二次回火温度都相同。经655℃回火的硬度高于3Cr2W8V钢1.2~2.0HRC;630℃回火的硬度低0.8HRC。

3Cr3Mo3W2V钢A硬度的 A_k 值低于3Cr2W8V钢0.7J;其B硬度的 A_k 值二者基本相同仅低0.1J。

4 室温力学性能

力学性能试样均为淬火+回火状态。下述试样硬度用A=48.0~48.3HRC;B=44.0~44.2HRC表示。

4.3 室温断裂韧性 K_{IC}

A硬度为29.5MPa·m^{1/2};B硬度为40.6MPa·m^{1/2}。3Cr3Mo3W2V钢A和B硬度的 K_{IC} 值分别低于3Cr2W8V钢3.2MPa·m^{1/2}和1.4MPa·m^{1/2}。

4.1 室温拉伸

试样状态	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_s %	ψ %
A	1634	1440	9.2	29.9
B	1461	1268	8.2	26.2

在A硬度条件下,3Cr3Mo3W2V钢的 σ_b 和 σ_s 值比3Cr2W8V钢低13MPa和9MPa。而且 δ_s 和 ψ 值也略低0.82%和0.90%。在B硬度条件下,3Cr3Mo3W2V钢的 σ_b 和 σ_s 值却比3Cr2W8V钢高114MPa和96MPa,但 δ_s 和 ψ 值要低1.93%和1.70%。

4.2 室温冲击韧性 A_k

A硬度为12.3J;B硬度为11.2J。

5 高温力学性能

5.1 高温拉伸性能

温度 ℃	试样 状态	σ_b MPa	σ_s MPa	δ_s %	ψ %
300	A	1441	1233	10.1	42.9
	B	1263	1088	8.8	39.2
600	A	947	822	17.3	52.3
	B	811	736	20.5	60.7
650	A	783	702	17.9	58.0
	B	662	587	21.3	66.9
700	A	507	449	23.0	80.6
	B	444	391	26.7	84.7

3Cr3Mo3W2V钢A硬度的 σ_b 和 σ_s 值,在300~600℃范围比3Cr2W8V钢低56~157MPa和

69MPa~137MPa, 在 650°C 缩小了二钢差值, 比 3Cr2W8V 钢仅低 25MPa 和 16MPa, 但当温度升至 700°C 时其 σ_b 和 σ_s 值却明显高于 3Cr2W8V 钢 92MPa 和 85MPa。在 300~700°C 范围 3Cr3Mo3W2V 钢 B 硬度的 σ_b 和 σ_s 值比 3Cr2W8V 钢高 65~129MPa 和 79~120MPa, 其中以 650°C 的强度差值最高。在 600~650°C 3Cr3Mo3W2V 钢 A 和 B 硬度的 δ_s 值比 3Cr2W8V 钢分别高 6.1%~12.5% 和 8.0%~10.3%; 但在 300°C 或 700°C 时 A 硬度的 δ_s 值却比 3Cr2W8V 钢低 1.2% 或 3.6%, B 硬度的 δ_s 值也低 1.6% 或 10.0%。在 300~700°C 3Cr3Mo3W2V 钢 A 和 B 硬度的 ψ 值都比 3Cr2W8V 钢高, 其差值为 2.2%~50.2% 和 0.8%~49.8%。其中以 600~650°C 的差值最大, A 和 B 硬度的 ψ 值比 3Cr2W8V 钢高 36.9%~50.2% 和 39.3%~49.8%。数据表明: 除了在 600~650°C A 硬度的 3Cr3Mo3W2V 钢强度比 3Cr2W8V 钢低外, 其余如 700°C A 硬度和 300~700°C B 硬度其强度均比 3Cr2W8V 钢高。

5.2 高温硬度(HV)

温度/°C	300	450	600	650	700	750
A	468.5	437.5	396.0	365.0	299.5	215.5
B	442.0	386.5	363.5	340.0	276.5	228.5

在 300~700°C 范围 3Cr3Mo3W2V 钢 A 硬度的高温硬度低于 3Cr2W8V 钢 11~55HV, 其差值随温度升高而增大; 但在 750°C 其硬度却高于 3Cr2W8V 钢 7HV。在 B 硬度条件下, 3Cr3Mo3W2V 钢 300~750°C 的硬度均高于 3Cr2W8V 钢, 尤其在 600~750°C 时的硬度要高 8.5~36HV。

5.3 高温冲击性能 A_k (J)

温度/°C	300	600	650	700
A	18.7	28.4	29.2	27.4
B	19.9	28.2	31.4	34.7

在 300°C A 和 B 硬度的 3Cr3Mo3W2V 钢 A_k 值低于 3Cr2W8V 钢 2.6J 和 1.1J, 但是随着温度的升高其 A 和 B 硬度的 A_k 值均高于 3Cr2W8V 钢, 如 A 硬度在 600~700°C 时 A_k 值要高 1.3~3.4J; B 硬度在 650~700°C 时 A_k 值要高 3.9~7.2J。数据表明: 4Cr3Mo3W2V 钢在 600~700°C 的冲击韧性优于 3Cr2W8V 钢。

6 特殊性能

6.1 抗氧化性能(试样硬度 HRC48.0~48.3)增重

值, g/m²

h	2	7	15	25	35	45	60	80	125	150
600°C	0	0	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.5	2.0

3Cr3Mo3W2V 钢在 600°C × 150h 的抗氧化性能优于 3Cr2W8V 钢, 其氧化增重减少 32.6g/m²。

h	750°C	h	750°C
2	8.9	25	85.1
5	18.4	30	96.3
8	27.1	35	106.5
11	38.0	40	116.7
15	54.3	45	126.5
20	71.9	50	136.9

3Cr3Mo3W2V 钢在 750°C × 50h 抗氧化性能比 3Cr2W8V 钢差, 其氧化增重增加 15.8g/m²。

h	1	2	3	4
1000°C	82.1	189.5	291.8	410.7

3Cr3Mo3W2V 钢在 1000°C × 4h 抗氧化性能优于 3Cr2W8V 钢, 其氧化增重减少 152.8g/m²。

数据表明: 4Cr3Mo3W2V 钢在 600°C × 150h 和 1000°C × 4h 的抗氧化性能优于 3Cr2W8V 钢。

6.2 热稳定性(HRC)

(1) 620°C

保温时间 h	A	B
0	48.5	45.7
2	47.1	44.6
4	46.3	44.0
6	44.6	42.6
8	43.8	—
11.5	42.1	41.6
14.5	42.0	40.8
17.5	40.5	40.0
21	39.6	39.3

在 620°C 保温 2~21h, A 硬度 3Cr3Mo3W2V 钢的热稳定性低于 3Cr2W8V 钢, 其硬度差 0.1~0.9HRC。但 B 硬度的热稳定性却优于 3Cr2W8V 钢, 其硬度要高 1.0~2.4HRC。

(2) 660°C

保温时间 h	0	1	2	3	5	7	9	12
A	48.1	43.4	39.9	38.4	37.1	34.5	33.8	31.5
B	45.0	42.7	39.4	38.7	37.2	35.0	34.3	32.1

在 660°C 保温 1~12h, A 硬度 3Cr3Mo3W2V 钢的热稳定性低于 3Cr2W8V 钢, 其硬度差 0.2~1.2HRC。但 B 硬度的热稳定性却优于 3Cr2W8V 钢, 其硬度要高 1.4~1.8HRC。

(3) 700℃						
保温时间 h	0	0.5	1	1.5	2	3
A	48.2	40.4	36.8	34.1	33.3	30.7
B	44.3	39.1	36.4	34.2	33.4	30.5

在 700℃ 保温 0.5~2h, A 硬度 3Cr3Mo3W2V 钢的热稳定性优于 3Cr2W8V 钢, 其硬度要高 0.2~0.6HRC; 但保温至 3h 时其硬度却比 3Cr2W8V 钢低 0.2HRC。B 硬度在 700℃ 保温 0.5~3h 的热稳定性优于 3Cr2W8V 钢, 其硬度要高 0.2~2.5HRC。

6.3 热疲劳性能(级别)

状态	A	B
20℃ → 650℃(1000 次)	4.2	9.0
20℃ → 750℃(1000 次)	14.8	17.8

3Cr3Mo3W2V 钢除 A 硬度在 650℃ 的热疲劳性能优于 3Cr2W8V 钢 4 级外, 其余 650℃ 时 B 硬度与 750℃ 时 A 和 B 硬度的热疲劳性能均低于 3Cr2W8V 钢。其差值 650℃ 时 B 硬度低 1.6 级, 750℃ 时 A 和 B 硬度的热疲劳性能低 0.8 级和 2.2 级。

6.4 热磨损性能(失重值 mg)

(1) 800~850℃ 压力 784~850N

状态/次	300	600	900	1200	1500	2500
A	0.37	1.07	1.47	1.83	2.00	2.15
B	0.80	1.87	2.67	—	3.07	4.07

3Cr3Mo3W2V 钢 A 与 B 硬度试样在 800~850℃ 的热磨损性能均优于 3Cr2W8V 钢, 在经热磨损 2500 次后其 A 硬度的失重值比 3Cr2W8V 钢低 3.25mg, 而 B 硬度的失重值低 0.68mg。

(2) 910~950℃ 压力 1764~1813N

状态/次	A	B
100	0.65	0.90
200	1.30	0.70
300	1.43	2.27
400	2.73	2.70
500	2.73	3.36
600	3.47	4.03
700	3.70	4.43
1000	4.20	5.33
1300	4.70	5.90
1600	6.40	7.60
1900	8.00	9.00
2200	9.80	9.60
2500	11.10	12.20

3Cr3Mo3W2V 钢 A 与 B 硬度试样在 910~

950℃ 的热磨损性能均优于 3Cr2W8V 钢, 在经热磨损 1000 次后其 A 硬度的失重值比 3Cr2W8V 钢低 2.63mg; 而 B 硬度在 2500 次热磨损的失重值低 7.6mg。

7 工艺性能

7.1 淬火温度对晶粒度的影响

温度/℃	950	1000	1030	1050	1100	1120	1150
硬度 HRC	50~51	52~53	54~55	55	57	58	58~59
晶粒度 级	11.5	11.5	11	11	11	10	9.5~10

7.2 回火稳定性(1060℃油淬硬度 52~54HRC)

温度/℃	二次硬化峰 温度	二次硬化 最高硬度	620	660	700	A695	B695
硬度 HRC	500~550℃	53	49	42	36	35	35

3Cr3Mo3W2V 钢二次硬化峰温度比 3Cr2W8V 钢约高 50℃, 但二次硬化峰最高硬度却低 1HRC。3Cr3Mo3W2V 钢要达到 49HRC 和 42HRC, 其回火温度都比 3Cr2W8V 钢低 10℃。但要达到 36HRC 或 35HRC 其回火温度却要高 5℃ 或 11℃ (B 硬度)。

7.3 锻造性能(高温形变抗力)

性能	800℃	900℃	1000℃	1100℃	1200℃
σ_b/MPa	139.63	109.57	77.2	52.14	32.34
$\delta_s/\%$	54.0	90.8	52.3	81.77	72.57

3Cr3Mo3W2V 钢除 800℃ 的变形抗力大于 3Cr2W8V 钢外 (σ_b 值高 8.48MPa 和 δ_s 值低 2.2%), 在 900~1100℃ 温度下其变形抗力均小于 3Cr2W8V 钢, 其中 σ_b 值要低 2.14~29.19MPa, 而且 δ_s 值要高 4%~24.8%; 在 1200℃ 时二者变形抗力基本相当。由于 3Cr3Mo3W2V 钢在 1000℃ 伸长率呈低谷, 仅比 3Cr2W8V 钢高 4%。所以在此温度也需适当减轻打击力。总的来说, 3Cr3Mo3W2V 钢的锻造性能优于 3Cr2W8V 钢。

7.4 切削性能

(1) 热作模具钢退火后切削力经验公式: $P_z = A \cdot V^B \cdot a_p^C \cdot f^D$ 式中 P_z —切削力, V —切削速度, a_p —切削深度, f —走刀量

参数	A	B	C	D
退火态 202HB	593.2	0.257	0.970	0.502

(2) 切削力 P_z /N

切削条件	f (mm/r)				
	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
$V=9\text{m/min}, a_p=1.0\text{mm}$	283.4	354.0	466.8	557.0	578.6
$V=15\text{m/min}, a_p=1.0\text{mm}$	310.9	415.8	499.1	593.3	648.2
切削条件	a_p (mm)				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5

$V=9\text{m/min}, f=0.1\text{mm/r}$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
	182.4	288.3	432.4	611.9	764.9	973.7
$V=9\text{m/min}, f=0.2\text{mm/r}$	227.5	499.1	725.6	975.7	1169.9	1564.1
$V=15\text{m/min}, f=0.1\text{mm/r}$	298.1	439.3	590.3	760.0	881.6	1113.0
$V=15\text{m/min}, f=0.2\text{mm/r}$	236.3	512.9	748.2	1012.0	1286.5	1630.7

3Cr3Mo3W2V 钢退火硬度比 3Cr2W8V 钢略低(24HB), 在 V, a_p, f 都与 3Cr2W8V 钢相同时, 其 P_z 较小。如在 $V=9\text{m/min}, a_p=1.0\text{mm}$, f 在 0.10~0.3mm/r 之间变化, 其 P_z 要减少 122.6~159.8N; 在 $V=15\text{m/min}, a_p=1.0\text{mm}$, f 在 0.10~0.3 mm/r 之间变化, 其 P_z 要减少 4.9~33.4N; 在 $V=9\text{m/min}, f=0.1\text{mm/r}, a_p$ 在 1.0~3.0mm 之间变化, 其 P_z 要减少 99.0~160.8N; 在 $V=9\text{m/min}, f=0.2\text{mm/r}, a_p$ 在 0.5~3.0mm 之间变化, 其 P_z 要减少 4.9~238.2N。从而说明在上述条件下 3Cr3Mo3W2V 钢的切削性能优于 3Cr2W8V 钢。但在 $V=15\text{m/min}, f=0.1\sim0.2\text{mm/r}$ 条件下, 其 P_z 数值高低波动较大, 二者切削性能相仿。同样也表明, 3Cr3Mo3W2V 钢在切削加工时提高切削速度会明显地增加切削力。

(上接第 30 页)

磨寿命是未涂敷涂层的 14 倍; 经表面处理后再涂敷 PEP 的国产销轴具有比进口销轴更好的耐磨性能。前者在 Skoda 试验机上以 49N、1000r/min 运行 10min 后涂层才被磨穿, 总磨损寿命大于 10000r, 而法国销轴在 5000r 时涂层即失效。这表明喷涂 PEP 粘结涂层的国产销轴具有良好的耐磨性能。

FF-1 涂层在 WYRB-40 型卧式软罐包装机封口装置上应用, 代替了原用隔离层玻璃-聚四氟乙烯布, 减少了热损失, 节电 1/3, 一次涂层可使用 300~500h, 约可封罐 50~80 万个, 而原用封口装置 1~2h 就须更换材料。同样封这些罐至少要比原用材料节约 1500~2500 元。

FM-110 涂层已成功地应用在 I 系列仪表 IRV 记录仪笔导轨和转动轴上以及直升飞机挠性联轴节膜片式垫片、垫圈表面上作为润滑、防腐涂层^[8]。

4 结 论

(1) 直接涂敷在金属摩擦表面上, 起润滑和防腐作用的 PEP、FF-1 和 FM-110 粘结涂层, 其附着力、柔韧性、抗冲击性、防腐蚀性等均达到良好的性能, 在工业生产中得到应用, 具有广阔的推广前景。

(2) PEP、FF-1 和 FM-110 三种树脂基粘结涂层在常温大气环境中具有较理想的摩擦学性能, 其耐磨寿命分别是法国 SDA 涂层的 1.6 倍、40

倍和 15 倍。

(3) 以环氧树脂和聚酰亚胺为粘结剂, 辐照处理的 PTFE、氧化物等为润滑剂、防腐、防粘剂、耐磨添加剂的 FF-1、FM-110 粘结涂层, 在室温~200℃ 范围内可长时间应用, 同时具有较低的摩擦系数。

(4) 试验研究表明, FF-1、FM-110 粘结涂层具有与 PTFE 相似的非粘着性, 可用作模压制品的脱模剂。

参考文献:

- 陈建敏, 治银平, 党鸿辛. 粘结固体润滑膜及其应用[J]. 摩擦学报, 1994, 14(2): 180.
- Lunkuitz K, Bürger W, Lappan U, et al. Surface modification of fluoropolymers[J]. J Adhesion Sci Technol, 1995, 9(3): 297.
- 平江俊之. 白色系固体润滑剂 MCA の涂膜人の利用[J]. (日) 涂装と涂料, 1983, 371: 64.
- 田军, 赵永红, 徐锦芬, 等. ^{60}Co 辐照对聚四氟乙烯表面润湿性的影响[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 1994, 12(2): 91.
- 连亚峰, 党鸿辛. 稀土元素的摩擦学发展概况[J]. 摩擦学学报, 1993, 13(2): 183.
- 冯大鹏, 刘近朱, 邵鑫, 等. 热喷涂层基高温润滑涂层的研究[J]. 机械工程材料, 1999, 23(6): 15.
- LEO A. 沃尔编. 氟化合物[M]. 北京: 化学工业出版社, 1978, 398~404.
- 李冀生, 王美玲. 中国机械工程学会摩擦分会摩擦材料与减磨耐磨技术专业委员会第一次学术会议论文集[C]. 北京, 1989.