

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℃的热磨损、600℃和 1000℃的抗氧化、600~700℃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锻压机模、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 $E(N/mm^2)$

温度/℃	室温	100	200	300
E	22200	21800	21300	20600

2.2 切变模量 $G(N/mm^2)$

温度/℃	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/℃	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⁾ $\lambda(W/(m \cdot K))$

温度/℃	100	400	500
λ	31.82	30.98	31.82

注:1)室温 20℃

2.5 线膨胀系数 $\alpha(mm/(mm \cdot ^\circ C))$

温度/℃	20~200	20~300	20~400	20~500	20~600	20~700
$\alpha \times 10^{-6}$	12.8	12.9	12.8	12.7	12.3	12.7

2.6 比热 $C_p(J/(kg \cdot K))$

温度/℃	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/℃	室温	100	200	300
μ	0.27	0.27	0.28	0.28

2.8 临界点 $^{\circ}C$ (近似值)

A_{c1}	A_{c3}	A_{r1}	A_{r3}	M_s
850	930	780	835	373

3 试样的热加工工艺

3.1 锻造

项目	加热温度 ℃	始锻温度 ℃	终锻温度 ℃	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℃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℃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)
线材等温退火	<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。

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。

4.1 室温拉伸

试样状态	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 , %	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_5 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_5 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。

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。

4.3 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}。

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_5 %	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℃缩小了二钢差值,比3Cr2W8V钢仅低25MPa和16MPa,但当温度升至700℃时其 σ_b 和 σ_s 值却明显高于3Cr2W8V钢92MPa和85MPa。在300~700℃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℃的强度差值最高。在600~650℃3Cr3Mo3W2V钢A和B硬度的 δ_5 值比3Cr2W8V钢分别高6.1%~12.5%和8.0%~10.3%;但在300℃或700℃时A硬度的 δ_5 值却比3Cr2W8V钢低1.2%或3.6%,B硬度的 δ_5 值也低1.6%或10.0%。在300~700℃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℃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℃A硬度的3Cr3Mo3W2V钢强度比3Cr2W8V钢低外,其余如700℃A硬度和300~700℃B硬度其强度均比3Cr2W8V钢高。

5.2 高温硬度(HV)

温度/℃	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℃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℃其硬度却高于3Cr2W8V钢7HV。在B硬度条件下,3Cr3Mo3W2V钢300~750℃的硬度均高于3Cr2W8V钢,尤其在600~750℃时的硬度要高8.5~36HV。

5.3 高温冲击性能 A_k (J)

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

在300℃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℃时 A_k 值要高1.3~3.4J;B硬度在650~700℃时 A_k 值要高3.9~7.2J。数据表明:4Cr3Mo3W2V钢在600~700℃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℃	0	0	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.5	2.0

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

h	750℃	h	750℃
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℃×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℃	82.1	189.5	291.8	410.7

3Cr3Mo3W2V钢在1000℃×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℃×150h和1000℃×4h的抗氧化性能优于3Cr2W8V钢。

6.2 热稳定性能(HRC)

(1) 620℃

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℃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℃

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℃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(高温变形抗力)

性能	800℃	900℃	1000℃	1100℃	1200℃
σ_b /MPa	139.63	109.57	77.2	52.14	32.34
δ_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
$V=9m/min, a_p=1.0mm$	283.4	354.0	466.8	557.0	578.6
$V=15m/min, a_p=1.0mm$	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	3.0
$V=9m/min, f=0.1mm/r$	182.4	288.3	432.4	611.9	764.9	973.7
$V=9m/min, f=0.2mm/r$	227.5	499.1	725.6	975.7	1169.9	1564.1
$V=15m/min, f=0.1mm/r$	298.1	439.3	590.3	760.0	881.6	1113.0
$V=15m/min, f=0.2mm/r$	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 $V=9m/min, a_p=1.0mm, f$ 在 $0.10\sim0.3mm/r$ 之间变化,其 P_z 要减少 122.6~159.8N;在 $V=15m/min, a_p=1.0mm, f$ 在 $0.10\sim0.3mm/r$ 之间变化,其 P_z 要减少 4.9~33.4N;在 $V=9m/min, f=0.1mm/r, a_p$ 在 $1.0\sim3.0mm$ 之间变化,其 P_z 要减少 99.0~160.8N;在 $V=9m/min, f=0.2mm/r, a_p$ 在 $0.5\sim3.0mm$ 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 $V=15m/min, f=0.1\sim0.2mm/r$ 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、耐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 润滑涂层的 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:

- [1] 陈建敏,冶银平,党鸿辛. 粘结固体润滑膜及其应用[J]. 摩擦学报,1994,14(2):180.
- [2] Lunkwitz K, Bürger W, Lappan U, et al. Surface modification of fluoropolymers[J]. J Adhesion Sci Technol, 1995, 9(3): 297.
- [3] 平江俊之. 白色系固体润滑剂 MCA 的涂膜入的利用[J]. (日) 涂装と涂料,1983,371:64.
- [4] 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.
- [5] 连亚峰,党鸿辛. 稀土元素的摩擦学发展概况[J]. 摩擦学报,1993,13(2):183.
- [6] 冯大鹏,刘近朱,邵 鑫,等. 热喷涂镍基高温润滑涂层的研究[J]. 机械工程材料,1999,23(6):15.
- [7] LEO A. 沃尔编. 氟化合物[M]. 北京:化学工业出版社,1978,398~404.
- [8] 李冀生,王美玲. 中国机械工程学会摩擦分会摩擦材料与减摩耐磨技术专业委员会第一次学术会议论文集[C]. 北京,1989.