

我国热作模具钢性能数据集(续 XVIII)

朱宗元
(上海材料研究所,上海 200437)

中国分类号: TG142.45 文献标识码: A 文章编号: 1000-3738(2002)07-0043-04

(18) 2Cr3Mo3VNb 钢(HM3)

2Cr3Mo3VNb 钢是在 3Cr3Mo3V 钢的基础上改进而成的,其特点是含碳量较低,增加了铌含量,属于低碳中合金热作模具钢,具有较高的热强韧性和热稳定性。该钢在 650~700℃的抗拉强度、300~700℃的冲击韧性、750℃的高温硬度、620~700℃的热稳定性、600℃的抗氧化性、650℃和 750℃的抗热疲劳性、800~850℃的抗热磨损性以及 800~1 100℃的锻造性能均优于 3Cr2W8V 钢。适宜制作冲击力较大的高速锻锻机模、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,%)

元素	C	Cr	Mo	V	Nb	Si	Mn	S	P
要求	0.20~	2.50~	2.70~	0.60~	0.08~	≤	≤	≤	≤
成分	0.30	3.20	3.20	1.20	0.15	0.60	0.35	0.030	0.030
试样成分	0.22	2.99	2.90	0.67	0.13	0.29	0.24	0.004	0.0055

2Cr3Mo3VNb 钢试样的化学成分与 3Cr2W8V 钢试样相比,硅、锰含量相似,碳的含量偏低(0.14%),该钢虽不含钨,但因含 2.9%的钒,所以钨当量仅减少了 2.38%。铬、钒和铌分别增加了 0.47%、0.35%和 0.13%。2Cr3Mo3VNb 钢试样的合金元素总量达到 7.22%,与 3Cr2W8V 钢相比减少了 4.28%。

2 物理性能

2.1 弹性模量 $E(N/mm^2)$

温度/℃	室温	100	200	300
E	22 000	21 600	21 000	20 300

2.2 切变模量 $G(N/mm^2)$

温度/℃	室温	100	200	300
G	8 550	8 440	8 200	7 900

2.3 弹性模量和切变模量的比值

温度/℃	室温	100	200	300	平均比值
E:G	2.573	2.559	2.561	2.570	2.566

2.4 热导率¹⁾ $\lambda(W/(m \cdot K))$

温度/℃	退火态	淬+回火态	温度/℃	退火态	淬+回火态
100	25.17	30.14	600	36.01	32.66
200	35.59	30.98	700	35.17	32.66
300	36.01	31.82	800	33.49	32.66
400	36.01	32.04	900	31.40	31.40
500	36.01	32.66			

注:1)室温 20℃

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

温度/℃	20~100	20~200	20~300	20~400	20~500	20~600	20~700
$\alpha \times 10^{-6}$	10.07	10.81	11.58	11.94	12.28	12.64	12.91

2.6 比热 $C_p(J/(kg \cdot K))$

温度/℃	20~100	20~200	20~300
$C_p \times 10^3$	0.460	0.485	0.490

2.7 泊松比 μ

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

2.8 密度 $7.81 \times 10^3 kg/m^3$

2.9 临界点℃ (近似值)

Ac_1	Ac_3	Ar_1	Ar_3	Ms
825	920	734	810	355

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	1 170~1 200	1 140~1 170	≥900	砂或坑缓冷
钢坯	1 160~1 180	1 120~1 150	≥850	砂或坑缓冷

因 2Cr3Mo3VNb 钢在 1 000℃的伸长率有一个低谷区, δ 值为 57.4%(优于 3Cr2W8V 钢 9.1%),所以在此温度需相对减轻打击力。与 3Cr2W8V 钢相比,二者锻造加热、始锻和终锻温度基本相当,但其 800~

收稿日期:2000-07-22;修订日期:2000-08-24
基金项目:机械工业部技术发展基金资助(88J50610)
作者简介:朱宗元(1942—),男,浙江镇海人,上海材料研究所教授级高工。

1 100℃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(≤229)
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(202~229)

2Cr3Mo3VNB 钢与 3Cr2W8V 钢相比,退火加热温度高 20~30℃,等温温度基本相当,但退火后

硬度约低 40HB。

3.3 淬 火

第一次预热	第二次预热	淬火温度 /℃	保温时间 /s·mm ⁻¹	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	1080±10	20~25	油	45.5~47.0

2Cr3Mo3VNB 钢与 3Cr2W8V 钢热处理工艺相同,但比 3Cr2W8V 钢淬火温度降低了 50℃,淬后硬度也降低 9~10HRC。

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	48.0	48.0	48.5	46.5	47.0	47.0	48.5	44.5	44.5	28.5

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	540×2	47.5~48.5	570×2	47.5~48.0
42~44	650×2	41.8~42.5	620×2	40.5~41.2

在同样温度条件下经二次回火,2Cr3Mo3VNB 钢二种硬度试样均比 3Cr2W8V 钢硬度低 1~2HRC。

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=47.5~48.0HRC;B=40.5~41.2HRC 表示。

4.1 室温拉伸

试样状态	σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 ,%	ψ ,%
A	1 590	1 338	14.7	56.3
B	1 273	1 151	15.2	55.9

在 A 硬度条件下,2Cr3Mo3VNB 钢的 σ_b 和 σ_s 值比 3Cr2W8V 钢低 57MPa 和 111MPa。但 δ_5 和 ψ 值要高 4.7% 和 25.5%。在 B 硬度条件下,2Cr3Mo3VNB 钢的 σ_b 和 σ_s 值也比 3Cr2W8V 钢低 74MPa 和 21MPa,但 δ_5 和 ψ 值要高 5.1% 和 28.0%。

4.2 室温冲击韧性 A_k

A 硬度为 6.0J;B 硬度为 12.2J。2Cr3Mo3VNB 钢 A 硬度的 A_k 值低于 3Cr2W8V 钢 7.0J;其 B 硬度的 A_k 值却略高于 3Cr2W8V 钢 0.9J。

4.3 室温断裂韧性 K_{IC}

A 硬度为 28.6MPa·m^{1/2};B 硬度为 42.8MPa

2Cr3Mo3VNB 钢经 300~640℃回火,其硬度比同温度回火的 3Cr2W8V 钢低 3.5~7.5HRC。如 550℃时硬度为 48.5 HRC 与 3Cr2W8V 钢 640℃回火 48HRC 的硬度相当;700℃回火的硬度 28.5 HRC 也比 3Cr2W8V 钢 680℃回火时硬度低 2.5HRC。

(2) 性能试样的回火工艺

• m^{1/2}。2Cr3Mo3VNB 钢 A 硬度的 K_{IC} 值低于 3Cr2W8V 钢 4.1MPa·m^{1/2};B 硬度 K_{IC} 值却略高于 3Cr2W8V 钢 0.8MPa·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	1 426	1 209	11.2	55.8
	B	1 151	992	13.6	59.1
600	A	1 104	922	11.8	40.7
	B	797	736	18.4	64.6
650	A	855	749	8.8	22.5
	B	662	608	18.1	67.5
700	A	489	448	19.2	81.9
	B	458	394	22.1	81.1

2Cr3Mo3VNB 钢 A 硬度的 σ_b 和 σ_s 值,在 300℃ 时比 3Cr2W8V 钢低 71MPa 和 93MPa,但 600℃ 时 σ_b 值相同, σ_s 值却低 37MPa;在 650~700℃ 时 2Cr3Mo3VNB 钢的 σ_b 和 σ_s 值比 3Cr2W8V 钢高 47~74MPa 和 31~84MPa,而且在 650℃ 的 δ_5 和 ψ 值也高 3.4% 和 14.6%。同样,在 300℃ 时 2Cr3Mo3VNB 钢 B 硬度的 σ_b 和 σ_s 值也比 3Cr2W8V 钢低 47MPa 和 17MPa,但 δ_5 和 ψ 值要高 3.2% 和 36.6%。在 600~700℃ 时 2Cr3Mo3VNB 钢 B 硬度的 σ_b 和 σ_s 值,比 3Cr2W8V 钢分别高 101~129MPa 和 101~137MPa。

在 600~650℃的 δ_5 和 ϕ 值也高 5.9~7.1%和 43.2%~50.4%。数据表明:在 650~700℃时 A 硬度和 600~700℃时 B 硬度下,2Cr3Mo3VNB 钢的强度比 3Cr2W8V 钢高;而且在 600~650℃时,A 和 B 硬度的韧性也均优于 3Cr2W8V 钢。

5.2 高温硬度(HV)

温度/℃	300	450	600	650	700	750
A	457.5	434.5	391.5	358.0	296.5	226.5
B	386.5	348.0	321.0	295.3	264.5	211.5

在 300~700℃范围,2Cr3Mo3VNB 钢 A 和 B 硬度的高温硬度低于 3Cr2W8V 钢 14.0~58.0HV 和 3.5~38.5HV。但在 750℃时 A 和 B 硬度却高于 3Cr2W8V 钢 17.5HV 和 8 HV。

5.3 高温冲击性能 Ak(J)

温度/℃	300	600	650	700
A	48.8	61.1	61.8	54.6
B	77.5	93.7	84.3	111.3

在 300~700℃范围,2Cr3Mo3VNB 钢 A 硬度的 Ak 值高于 3Cr2W8V 钢 27.5~36.1J; B 硬度的 Ak 值高于 3Cr2W8V 钢 56.5~83.8J。数据表明:2Cr3Mo3VNB 钢在 300~700℃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 47.5~48.0HRC)增重值,g/m²

时间/h	2	7	15	25	35	45	60	80	125	150
600℃	0.8	1.3	3.1	3.9	4.7	5.8	6.9	8.6	10.9	12.7

2Cr3Mo3VNB 钢在 600℃×150h 抗氧化性能优于 3Cr2W8V 钢,其氧化增重减少 21.9g/m²。

时间/h	750℃	时间/h	750℃
2	10.0	25	275.9
5	30.4	30	327.5
8	61.4	35	379.1
11	93.2	40	396.5
15	148.3	45	469.9
20	234.3	50	494.9

2Cr3Mo3VNB 钢在 750℃×50h 抗氧化性能比 3Cr2W8V 钢差,其氧化增重增加 373.8g/m²。

时间/h	1	2	3	4
1000℃	204.5	392.6	624.0	919.0

2Cr3Mo3VNB 钢在 1 000℃×4h 抗氧化性能比 3Cr2W8V 钢差,其氧化增重增加 355.5g/m²。

数据表明:2Cr3Mo3VNB 钢在 600℃×150h 的抗氧化性能优于 3Cr2W8V 钢;但 750℃×50h 和 1 000℃×4h 的抗氧化性能比 3Cr2W8V 钢差。

6.2 热稳定性能(HRC)

(1) 620℃

保温时间/h	0	2	4	6	8	11.5	14.5	17.5	21
A	48.2	46.3	44.0	43.5	42.1	40.6	39.2	38.0	37.5
B	41.0	41.2	41.5	40.2	39.7	38.7	38.0	37.0	36.3

在 620℃保温 2~21h 后 A 硬度 2Cr3Mo3VNB 钢的热稳定性低于 3Cr2W8V 钢,其硬度差 0.7~3.5HRC。同样, B 硬度的热稳定性也低于 3Cr2W8V 钢,其硬度差 0.5~2.5HRC。

(2) 660℃

保温时间/h	0	1	2	3	5	7	9	12
A	49.0	42.1	37.0	35.8	32.3	31.0	29.5	27.5
B	41.3	39.8	36.5	34.3	33.7	31.9	30.0	27.4

在 660℃保温 1~12h 后 A 硬度 2Cr3Mo3VNB 钢的热稳定性低于 3Cr2W8V 钢,其硬度差 2.0~4.7HRC。同样, B 硬度的热稳定性也低于 3Cr2W8V 钢,其硬度差 1.3~3.3HRC。

(3) 700℃

保温时间/h	0	0.5	1	1.5	2	3
A	47.6	36.8	32.1	29.1	28.4	26.0
B	41.6	35.7	33.0	30.2	30.1	27.7

在 700℃保温 0.5~3h 后 A 硬度 2Cr3Mo3VNB 钢的热稳定性低于 3Cr2W8V 钢,其硬度差 3.4~4.9HRC;同样, B 硬度的热稳定性也低于 3Cr2W8V 钢,其硬度差 0.9~2.6HRC。

数据表明:2Cr3Mo3VNB 钢 A 和 B 硬度,在 600~700℃的热稳定性均低于 3Cr2W8V 钢。

6.3 热疲劳性能(级别)

状态	20℃↔650℃(1 000 次)	20℃↔750℃(1 000 次)
A	2.4	6.2
B	3.6	7.6

2Cr3Mo3VNB 钢 A 硬度在 650℃和 750℃的抗热疲劳性能优于 3Cr2W8V 钢 5.8 和 7.8 级;同样, B 硬度在 650℃和 750℃的抗热疲劳性能也优于 3Cr2W8V 钢 3.8 和 8.0 级。

数据表明:2Cr3Mo3VNB 钢有优异的抗热疲劳性能。其 A 和 B 硬度试样在 650℃和 700℃的抗热疲劳性能均优于 3Cr2W8V 钢。

6.4 抗热磨损性能(失重值/mg)

(1) 800~850℃ 压力 784~882N

状态/次	300	600	900	1 200	1 500	2 500
A	0.87	1.20	1.80	2.30	2.60	3.10
B	0.73	0.80	1.10	1.87	2.23	2.68

2Cr3Mo3VNB 钢 A 与 B 硬度试样,在 800~

850℃的抗热磨损性能均优于 3Cr2W8V 钢,在经热磨损 2 500 次后其 A 硬度的失重值比 3Cr2W8V 钢低 2.30mg,而 B 硬度的失重值低 2.07mg。

(2) 910~950℃ 压力 1 764~1 813N

状态/次	100	200	300	400	500	600	700	1 000
A	0.70	1.80	2.63	3.23	3.83	4.47	5.30	7.00
B	1.10	2.13	3.00	3.67	4.70	5.33	5.87	7.12

2Cr3Mo3VNb 钢 A 与 B 硬度试样,在 910~950℃时 300~700 次的抗热磨损性能均低于 3Cr2W8V 钢,其差值 A 硬度为 0.06~0.57mg;B 硬度为 0.71~1.23mg。但在 1 000 次时的抗热磨损性能却优于 3Cr2W8V 钢,其 A 和 B 硬度的失重值比 3Cr2W8V 钢低 0.17mg 和 0.78mg。

数据表明:2Cr3Mo3VNb 钢 A 和 B 硬度试样,在 800~850℃的抗热磨损性能优于 3Cr2W8V 钢;在 910~950℃时的抗热磨损性能与 3Cr2W8V 钢相当。

6.5 热塑性摩擦系数 μ

变形量, %	润滑方法	内径变化 ΔD , %	1 000℃时 μ
32.7	不润滑	26.86	0.480
32.2	水剂石墨	25.53	0.462

在同样的试验条件下,2Cr3Mo3VNb 钢的摩擦系数小于 3Cr2W8V 钢。其不润滑的 μ 值小 0.077;而水剂石墨润滑的 μ 值小 0.028。

7 工艺性能

7.1 淬火温度对硬度和晶粒度的影响

温度/℃	950	1 000	1 020	1 050	1 100
硬度/HRC	47.0	48.0	49.0	49.5	51.0
晶粒度/级	11.0	11.0	—	10.0	10.0

切削条件	$f/\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$				
	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
$v=9\text{m}/\text{min}, a_p=1.0\text{mm}$	354.0	450.1	573.7	665.8	726.6
$v=15\text{m}/\text{min}, a_p=1.0\text{mm}$	310.9	377.5	470.7	555.0	637.4

切削条件	a_p/mm					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
$v=9\text{m}/\text{min}, f=0.1\text{mm}/\text{r}$	182.4	349.1	537.4	693.3	776.6	886.5
$v=9\text{m}/\text{min}, f=0.2\text{mm}/\text{r}$	275.5	516.8	798.2	1 101.2	1 309.1	1 478.7
$v=15\text{m}/\text{min}, f=0.1\text{mm}/\text{r}$	138.3	294.2	443.2	648.2	781.5	953.1
$v=15\text{m}/\text{min}, f=0.2\text{mm}/\text{r}$	255.9	648.2	754.1	1 041.4	1 257.1	1 597.4

2Cr3Mo3VNb 钢退火硬度比 3Cr2W8V 钢低 40HB,在 v 、 a_p 、 f 都与 3Cr2W8V 钢相同时,其 P_z 较小。如在 $v=9\text{m}/\text{min}, a_p=1.0\text{mm}$ 条件下, f 在 0.10~0.25mm/r 之间变化,其 P_z 要减少 26.5~60.8N;在 $v=15\text{m}/\text{min}, a_p=1.0\text{mm}$ 条件下, f 在 0.10~0.3mm/r 之间变化,其 P_z 要减少 4.9~44.1N;在 $v=9\text{m}/\text{min}, f=0.1\text{mm}/\text{r}$ 条件下, a_p 在 1.0~3.0mm

7.2 回火稳定性(1 080℃油淬硬度 46~47HRC)

温度/℃	二次硬化峰温度	二次硬化最高硬度	660	680	677A	676B
硬度/HRC	500℃	48	42	36	35	35

2Cr3Mo3VNb 钢二次硬化峰温度比 3Cr2W8V 钢高 50℃,但二次硬化峰最高硬度却低 6HRC。2Cr3Mo3VNb 钢达不到 49HRC,要获得 42HRC 和 36HRC,其回火温度要比 3Cr2W8V 钢低 10℃和 15℃。同样达到 35HRC,其 A 和 B 硬度试样的回火温度要比 3Cr2W8V 钢低 16℃和 8℃。

7.3 锻造性能(高温形变抗力)

温度/℃	800	900	1 000	1 100	1 200
σ_b/MPa	123.02	91.51	56.12	45.34	33.0
$\delta_5, \%$	69.9	88.0	57.4	68.4	76.5

2Cr3Mo3VNb 钢在 800~1 100℃的变形抗力小于 3Cr2W8V 钢,其 σ_b 值低 8.13~47.25MPa 和 δ_5 值高 9.1%~22.0%,以 900℃的差值最大。在 1 200℃时其变形抗力与 3Cr2W8V 钢相当,其中 σ_b 值要高 1.42MPa,而且 δ_5 值也高 5.3%。因此 2Cr3Mo3VNb 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 为切削力; v 为切削速度; a_p 为切削深度; f 为走刀量。

参数	A	B	C	D
退火态 186HB	2 507.4	-0.186	0.987	0.691

(2) 切削力 P_z/N

之间变化,其 P_z 要减少 22.5~201.0N;在 $v=9\text{m}/\text{min}, f=0.2\text{mm}/\text{r}$ 条件下, a_p 在 0.5~3.0mm 之间变化,其 P_z 要减少 51.0~323.6N;在 $v=15\text{m}/\text{min}, f=0.1\text{mm}/\text{r}$ 条件下, a_p 在 1.0~3.0mm 之间变化,其 P_z 要减少 27.4~110.8N。从而说明在上述切削试验条件下,2Cr3Mo3VNb 钢的切削性能优于 3Cr2W8V 钢。(待续)