

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)

中图分类号: 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3Cr2Mo3V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及热稳定性。该钢在650~700°C的抗拉强度、300~700°C的冲击韧性、750°C的高温硬度、620~700°C的热稳定性、600°C的抗氧化性、650°C和750°C的抗热疲劳性、800~850°C的抗热磨损性以及800~1100°C的锻造性能均优于3Cr2W8V钢。适宜制作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,%)

元素	C	Cr	Mo	V	Nb	S	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%的钼,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/mm²)

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

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,高级工程师。

2.2 切变模量 G (N/mm²)

温度/°C	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/°C	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⁾ λ (W/(m·K))

温度/°C	退火态	淬+回火态	温度/°C	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°C

2.5 线膨胀系数 α (mm/(mm·°C))

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

2.6 比热 C_p (J/(kg·K))

温度/°C	20~100	200~300	200~400
$C_p \times 10^3$	0.460	0.485	0.490

2.7 泊松比 μ

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

2.8 密度 7.81×10^3 kg/m³

2.9 临界点°C (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/°C	始锻温度/°C	终锻温度/°C	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°C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~

1 100°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/°C	保温时间/h	等温温度/°C	保温时间/h	冷却方式(HB)
棒材退火	<500°C入炉随炉升温	800~820	2+1min/mm	—	—	随炉冷至<500°C出炉空冷(≤229)
板材退火	<500°C入炉随炉升温	860~880	1+1min/mm	730±10	2+1min/mm	随炉冷至<500°C出炉空冷(202~229)

2Cr3Mo3VNb钢与3Cr2W8V钢相比,退火加热温度高20~30°C,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/°C	保温时间/s·mm ⁻¹	冷却介质	硬度/HRC
箱式炉 550°C 保温时间 30min+1min/mm	盐浴炉 850°C 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°C,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/°C	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

2Cr3Mo3VNb钢经300~640°C回火,其硬度比同温度回火的3Cr2W8V钢低3.5~7.5HRC。如550°C时硬度为48.5HRC与3Cr2W8V钢640°C回火48HRC的硬度相当;700°C回火的硬度28.5HRC也比3Cr2W8V钢680°C回火时硬度低2.5HRC。

(2) 性能试样的回火工艺

要求硬度/HRC	第一次回火温度/°C × 保温时间/h	硬度/HRC	第二次回火温度/°C × 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。

• $m^{1/2}$ 。2Cr3Mo3VNb钢A硬度的 K_{IC} 值低于3Cr2W8V钢 $4.1 \text{ MPa} \cdot m^{1/2}$;B硬度 K_{IC} 值却略高于3Cr2W8V钢 $0.8 \text{ MPa} \cdot m^{1/2}$ 。

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	$\delta_s/\%$	$\psi/\%$
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_s 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_s 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 $28.6 \text{ MPa} \cdot m^{1/2}$;B硬度为 42.8 MPa

5 高温力学性能

5.1 高温拉伸性能

温度/°C	试样状态	σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta_s/\%$	$\psi/\%$
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°C时比3Cr2W8V钢低71MPa和93MPa,但600°C时 σ_b 值相同, σ_s 值却低37MPa;在650~700°C时2Cr3Mo3VNb钢的 σ_b 和 σ_s 值比3Cr2W8V钢高47~74MPa和31~84MPa,而且在650°C的 δ_s 和 ψ 值也高3.4%和14.6%。同样,在300°C时2Cr3Mo3VNb钢B硬度的 σ_b 和 σ_s 值也比3Cr2W8V钢低47MPa和17MPa,但 δ_s 和 ψ 值要高3.2%和36.6%。在600~700°C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°C 的 δ_s 和 ψ 值也高 5.9~7.1% 和 43.2%~50.4%。数据表明: 在 650~700°C 时 A 硬度和 600~700°C 时 B 硬度下, 2Cr3Mo3VNb 钢的强度比 3Cr2W8V 钢高; 而且在 600~650°C 时, A 和 B 硬度的韧性也均优于 3Cr2W8V 钢。

5.2 高温硬度(HV)

温度/°C	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°C 范围, 2Cr3Mo3VNb 钢 A 和 B 硬度的高温硬度低于 3Cr2W8V 钢 14.0~58.0 HV 和 3.5~38.5 HV。但在 750°C 时 A 和 B 硬度却高于 3Cr2W8V 钢 17.5 HV 和 8 HV。

5.3 高温冲击性能 A_k (J)

温度/°C	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°C 范围, 2Cr3Mo3VNb 钢 A 硬度的 A_k 值高于 3Cr2W8V 钢 27.5~36.1 J; B 硬度的 A_k 值高于 3Cr2W8V 钢 56.5~83.8 J。数据表明: 2Cr3Mo3VNb 钢在 300~700°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 47.5~48.0 HRC)增重值, g/m²

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

2Cr3Mo3VNb 钢在 600°C × 150h 抗氧化性能优于 3Cr2W8V 钢, 其氧化增重减少 21.9 g/m²。

时间/h	750°C	时间/h	750°C
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°C × 50h 抗氧化性能比 3Cr2W8V 钢差, 其氧化增重增加 373.8 g/m²。

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

2Cr3Mo3VNb 钢在 1000°C × 4h 抗氧化性能比 3Cr2W8V 钢差, 其氧化增重增加 355.5 g/m²。

数据表明: 2Cr3Mo3VNb 钢在 600°C × 150h 的抗氧化性能优于 3Cr2W8V 钢; 但 750°C × 50h 和 1000°C × 4h 的抗氧化性能比 3Cr2W8V 钢差。

6.2 热稳定性(HRC)

(1) 620°C

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°C 保温 2~21h 后 A 硬度 2Cr3Mo3VNb 钢的热稳定性低于 3Cr2W8V 钢, 其硬度差 0.7~3.5 HRC。同样, B 硬度的热稳定性也低于 3Cr2W8V 钢, 其硬度差 0.5~2.5 HRC。

(2) 660°C

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°C 保温 1~12h 后 A 硬度 2Cr3Mo3VNb 钢的热稳定性低于 3Cr2W8V 钢, 其硬度差 2.0~4.7 HRC。同样, B 硬度的热稳定性也低于 3Cr2W8V 钢, 其硬度差 1.3~3.3 HRC。

(3) 700°C

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°C 保温 0.5~3h 后 A 硬度 2Cr3Mo3VNb 钢的热稳定性低于 3Cr2W8V 钢, 其硬度差 3.4~4.9 HRC; 同样, B 硬度的热稳定性也低于 3Cr2W8V 钢, 其硬度差 0.9~2.6 HRC。

数据表明: 2Cr3Mo3VNb 钢 A 和 B 硬度, 在 600~700°C 的热稳定性均低于 3Cr2W8V 钢。

6.3 热疲劳性能(级别)

状态	20°C → 650°C (1000 次)	20°C → 750°C (1000 次)
A	2.4	6.2
B	3.6	7.6

2Cr3Mo3VNb 钢 A 硬度在 650°C 和 750°C 的抗热疲劳性能优于 3Cr2W8V 钢 5.8 和 7.8 级; 同样, B 硬度在 650°C 和 750°C 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°C 和 700°C 的抗热疲劳性均优于 3Cr2W8V 钢。

6.4 抗热磨损性能(失重值/mg)

(1) 800~850°C 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2500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1764~1813N

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1000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	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	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:

$$P_z = A \cdot v^3 \cdot a_p^2 \cdot f^2$$

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

$$f/\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$$

	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

$$a_p/\text{mm}$$

	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

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)