

·综述·

发展我国高速钢的战略分析

李正邦

(钢铁研究总院,北京 100081)

摘要 合理利用我国丰富的钨、钼、钒矿物资源,综合应用熔融还原、电渣重熔、微合金化等高新技术生产优质高速钢,以达到经济使用这些资源、提高冶金质量、降低能耗、缩短生产流程和改善环境的目的。同时,建立生产基地,按国际标准将高速钢深加工成刀具、模具、冷轧轧辊等产品,以满足国内制造业不断增长的需求,在国际市场上变资源出口为制成品出口。

关键词 高速钢 矿物资源 熔融还原 电渣重熔 微合金化

Analysis on Strategy to Develop High Speed Steel in China

Li Zhengbang

(Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract It is available to produce high speed steel by rationally using abundant tungsten, molybdenum and vanadium ore resources in China and comprehensively applying high and advance technologies such as smelting reduction, electroslag remelting and microalloying so as to attain the goal economically utilizing these resources, increasing metallurgical quality, decreasing energy consumption, shortening process flow sheet and improving environment. In the meantime the production base to produce pit tool, die and cold-rolling roller of high speed steel according to international standards should be established to meet the steady increasing requirement of domestic manufacturing industry and to change resources export for products export in international market.

Material Index High Speed Steel, Ore Resources, Smelting Reduction, Electroslag Remelting, Microalloying

高速钢含合金元素种类多,合金总含量高(如通用牌号:6W5Mo4Cr2V、9W3Mo4CrV、W18Cr4V),为了保证刀具具有高的磨削性能,对高速钢的硬度(HRC \geq 70)与红硬性(在600℃时,HRC \geq 60),以及钢中碳化物的不均度与颗粒度均有严格要求,所以高速钢产品的质量是特殊钢厂技术水平的标志之一。

第二次世界大战以后各国都重视资源战略,用于尖端技术及国防军工材料的合金元素,统称战略合金元素。战略合金元素指:Cr、Ni、Mo、V、W、Co、Nb、Ti及Ce-La等。国家作为战略储备物资,常年保持定量储备。美国国防后勤局(DLA)所属国防储备中心(DNSC)即钨钼钒资源储备机构^[1],可左右国际市场。

我国拥有丰富的钨、钼、钒资源,怎样用高新技术生产优质工具钢——高速钢、模具钢、基体钢,进而深加工成刀具、量具、模具和轧辊等成品,满足国内需要,进入国际市场取代资源出口,这不仅可成倍提高其经济效益,而且是一个具有深远的战略发展问题。

1 我国钨钼钒的资源优势

1.1 钨钼钒资源的形势

我国金属钨储量为115万t(基础储量231万t),占世界总储量的57.5%,产量及出口量均居世界第一,但近年来由于无序开采,盲目资源出口,使钨业陷入困境。2003年出口钨精矿和中间产品APT,钨酸及钨铁占出口金额的62.8%。

我国金属钼储量高达183.98万t(基础储量330.2万t),产量居世界第二,陕西金堆城、河南深川钼矿床之大是世界所罕见的。我国用于钢铁工业的钼占总产量的77%。我国钨钼矿很多系共生矿,要采用湿法冶金方法分离极为困难,对于钢铁工业生产高速钢和模具钢,钨和钼均为有价合金元素,可部分替换,不必致力于分离。

我国钒资源丰富,仅攀枝花钒钛磁铁矿就有V₂O₅资源储量达2500万t,近年攀枝花钢铁公司在转炉提钒上应用新技术、提高钒渣的品位,成为世界三大产钒企业之一。另外湖南、湖北、四川和安徽四省石煤伴生钒资源储量达2000万t之

多,待开发。

钒的主要用途在钢铁工业,在低合金钢、工具钢和其它合金钢中用量占 87%。在钛合金中用作合金元素,如 TiAl6V4、TiAl6V6Sn2、TiAl8MoV 合金用于驱动装置构件、飞机船舶骨架结构及反应堆材料。

国内随建筑业的发展,三级螺纹钢 HRB400 需求激增,不少钢厂采用在二级钢筋 20MnSi II 的基础上加 V-N 合金化,吨钢用量虽少,若我国每年 2 200 万 t 钢筋全采用加 V-N 合金化,战略合金元素 V 资源将耗尽,势必引发资源危机。为此,作者正致力于开发新的增氮强化剂,取代 V-N。

1.2 钨铁、钼铁的出口是变相资源出口

由于执行了国家出口配额制,1997 年以来仲钨酸铵出口量受控制,而价格逐渐回升。鉴于外经贸部解除了对铁合金配额限制,误将钨铁、钼铁视为一般铁合金,开了方便之门,钨铁出口量剧增,由 1996 年 656 t 到 2003 年达 6 028.6 t,7 年时间增长了 9.2 倍。

全部用新料 1 t W75 的钨铁可以冶炼 12 t M2 高速钢,而通常电弧炉用 40% 返回料,1 t W75 的钨铁可冶炼 20 t M2 高速钢。那么,6 000 t 钨铁可冶炼 12 万 t 高速钢,这种情况,必须改变,建议将钨铁编回配额制。

1 t 钨铁冶炼综合电耗大于 4 000 kWh,排放大量 CO₂ (300 m³/t)、SO₂ 及 NO_x。因此钨铁、钼铁大量低价出口,不仅使资源优势丧失,又使我国成为西方发达国家转移污染的场所。

2 工业材料——高速钢及模具钢的重要性

2.1 高速钢刀具

根据世界工具协会统计,以切削刀具为例,高速钢刀具占总销售额的 71.26% (含 W、Mo),硬质合金刀具 (含 WC、Mo₂C 及 WSi₂、MoSi₂) 占 28.24%,而各类陶瓷刀具 (氧化铝陶瓷、氮化硅-氧化铝陶瓷、立方氮化硼聚晶) 仅占 0.5%。高速钢问世至今已有近百年历史,高速钢长盛不衰基于以下 4 点原因: (1) 韧性和加工塑性比硬质合金刀具高一档次。硬质合金多用于车刀刀头形状简单刀具,而高速钢可用于铣刀、拉刀、丝锥、带锯锯条等复杂刀具; (2) 高速钢制备工艺日益完善。为提高材料纯净度和均匀性,采用并发展了电渣重熔精炼、微合金化、快速凝固及表面涂层等新技术;

(3) 价格低廉; (4) 可回收再利用。

钨系高速钢如美国 ASTM T1 含 W18%,日本 JIS SKH3 含 W18%,德国 DIN S18-1-2-5 含 W18%。钨钼系高速钢如美国 ASTM M2 含 W + Mo = 11%,日本 JIS SKH53 含 W + Mo = 11%,德国 DIN S7-4-2-5 含 W + Mo = 11%。

根据 OECD 统计,2003 年全世界高速钢钢材产量达 22 万 t,我国产量居世界第一,特殊钢协会统计 2003 年钢锭达 77 236.33 t,钢材 59 332.7 t (含非协会民营企业的总钢材产量,达 6.4 万 t),其中 23 726.5 t 制成钻头、立铣钻及锯片出口,4 万 t 满足国内需要。但某些高档次产品如轿车加工用的超硬高速钢仍需进口。

2.2 高速钢模具

模具钢普遍含钨、钒等金属元素。特种热作模具钢含较高的钨: 国产 3Cr2W8V 含 W7.5% ~ 9.0%,美国 ASTM H21 含 W8.5% ~ 10.0%,日本热作模具钢 JIS SKD5 含 W9% ~ 10%,英国热作模具钢 BH26 含 W17.5% ~ 18.5%,法国热作模具钢 Z30WCV9 含 W8.5% ~ 9.5%。

2003 年我国 14 家特钢厂生产合金模具钢 Cr12Mo1V1 (D2)、CrWMo (O1)、3Cr2W8V (H21)、5CrNiMo、5CrMnMo、4Cr5MoSiV1 (H13)、4Cr5MoSiV (H11)、3Cr2Mo (P20) 和 3Cr2NiMnMo (718) 等共计 23 万 t,其中 H21 由于含 W9%,具资源优势,出口量最大,用于热作模具及压铸模。

2.3 高速钢作构件基体

要求高硬度,高耐磨性的冷挤压冲头、冷轧轧辊曾采用高速钢来制造,但往往又由于其韧性差而过早失效。近年来为提高它的韧性而研究发展了基体钢,基体合金化学成分及淬火后基体组织与高速钢近似,但含碳量减少,钢中共晶碳化物量少,碳化物尺寸细小,分布均匀。我国发展 6W18Cr4V 及 6W6Mo5Cr4V 等半碳高速钢。

高级航空用轴承一直采用 W18 高速钢。近年由于温室效应,地球变热,空调制冷设备飞速发展。因此,空压机叶片采用高速钢的需求量逐年上升,世界潜在市场达 4 万 t/年。

3 我国高速钢的生产现状

3.1 我国高速钢产量

我国高速钢 1985 年 ~ 2004 年产量的增长见表 1。根据 OECD 统计,2003 年世界实产高速钢

表1 1985年~2004年我国高速钢生产总量/t

Table 1 Anneal output of high speed steel in China between 1985 and 2004 /t

年份	钢锭	钢材	数据来源
1985	42 201	28 240	冶金部 协调组
1986	43 280	29 846	
1987	46 913	31 516	
1988	43 650	28 199	
1989	61 493	38 903	
1990	56 300	36 565	
1991	45 792	31 242	
1992	33 870	23 455	
1993	44 748	29 141	
1994	36 037	24 000	
1995	28 202	21 410	
1996	30 400	22 383	
1997	20 802	15 848	
1998	20 934	16 209	
1999	28 537	20 025	
2000	53 070	40 335	特钢行业 高速钢 专业组
2001	52 612	40 618	
2002	60 506	46 923	
2003	77 236	59 143	
2004	91 508	73 868	

注:含钨当量[W] < 5%的低合金高速钢。

钢材 22 万 t,我国实产钢材 6.4 万 t(部分民营企业未进入行业统计),占世界 29.1%,居世界首位。江苏天工集团 2003 年高速钢产量达 23 008 t,超过法国欧拉司蒂(Erasteel)处于国际领先行列。

2003 年世界高速钢生产的格局如下:奥地利(以 Bohler 公司为主)产 30 200 t,法国(以 Erasteel 为主)产 2.2 万 t,日本(以日立金属安来为主)产 2.5 万 t,美国产约 3 万 t(含 Crucible 的 1.2 万 t 粉末高速钢),俄罗斯产约 3 万 t,其他国家产高速钢约 2 万 t。

3.2 我国高速钢产品存在的问题

3.2.1 表面质量

大部分黑皮交货、裂纹高,尤其是小型材和线材表面脱碳层深度常超过标准允许范围。近年一度表面不合格比例占交货量 3.1%。

3.2.2 尺寸精度

高速钢专业常生产的热轧小型材,普遍采用横列式轧机,尺寸精度只能达到国标 GB9943-88 II 的水平,实物尺寸公差比美国 ASTM A600 标准大一倍,比国外产品实物公差大 2~3 倍。

3.2.3 化学成分不均匀

国外 M42 的化学成分为: S ≤ 0.01%; P ≤ 0.02%; As + Pb + Sn ≤ 0.045%。国产高速钢 P、Cu 常超标。

3.2.4 碳化物颗粒度与不均度

进口 M2 小型材热扭轧废品率 < 3%,国产约 4%。进口 M2 碳化物颗粒度 ≤ 11 μm。进口的 M42 与 M35 含 Co 高速钢硬度波动范围 ΔHRC ≤ 1。表 2 列出了进口 M42 高速钢中碳化物不均度的统计。从表 2 中可以看出,进口材 1/4D 处碳化物与国产 M42 相当,但 1/8D 处即刀具刃口部分碳化物比国产 M42 低 1.5~2.0 个级别,这有利于提高刀具寿命。

表2 进口与国产高速钢中碳化物不均度比较

Table 2 Comparison of average rating of carbide between input and domestic high speed steel

规格/mm	1/4D 碳化物平均级别		1/8D 碳化物平均级别	
	进口材	国产材	进口材	国产材
Φ30~40	3.12	3.33	1.75	3.07
Φ40~60	3.50	3.42	2.16	3.56
Φ60~80	4.38	4.23	2.88	4.36

3.2.5 国产 M42 高速钢夹杂物的优势

进口 M42 基本没有 C 类和 D 类夹杂, A 粗 0.5 级、细 1.0 级, B 类粗 ≤ 1.5 级。国产 M42 系电渣重熔钢比进口 M42 钢夹杂低 0.5~1.0 级。

3.2.6 品种规格

粉末冶金高速钢尚属空白, M42 钢丝基本上属空白。国外高速钢板材可供厚 0.6~65 mm 规格, 法国 Erasteel 年产板 4 000 t, 主要是 0.63 mm 薄板, 为手用锯条提供原材料。

我国河冶、天工等生产厂主要高速钢产品为 M2、W4、W9、W18、M2Al、M42、M35 7 个品种。法国 Erasteel 主要有高速钢品种 26 个, 其中含粉末冶金高速钢产品 ASP2030、2060 等 8 个牌号。

3.2.7 缺少高性能产品

目前我国高性能高速钢(有含 Al, 含 Co, 含 V 3 种, 并且含 Al 的 M2Al 为主) 2003 年仅占 9.29%, 国外含 Co 的高性能高速钢大致占 15%~20%, 以光亮材交货。

3.2.8 缺乏严格的国家标准与厂控标准

美国 ASTM A600 标准比较完整、全面、要求较严, 可作为制定我国新标准的参考。而实际生产中执行的厂控标准, 以 Bohler 公司和日立公司生产 M2 钢实物水平为例: (1) 碳化物颗粒度 ≤ 11 μm; (2) 淬火+回火硬度 65~67 HRC; (3) 红硬性(600 ℃) ≥ 63 HRC; (4) 脱碳层深度 ≤ 1% D; (5) 表面裂纹率 ≤ 1%。

日本 JISC4403-2000 标准较 JISC-83 在原有 13

个钢号中,有 10 个缩小了成分范围,特别是 C、Mo、W、V 4 个元素。更靠近国际标准 ISO。

4 发展我国高速钢及其制品的对策

4.1 采用先进技术

4.1.1 熔融还原法冶炼高速钢

狭义的熔融还原为“无焦炭炼铁”;广义的熔融还原^[2]即“在熔融状态下用还原剂(固态、液态或气态)还原矿石或精矿粉,以获得纯金属、合金、金属间化合物或合金钢”。国际上将氧化矿直接还原时合金化率未超过 8% 的工艺过程称为“直接还原”,合金化率超过 8% 的工艺过程称为合金钢的熔融还原^[3]。

钢铁研究总院自 1994 年开始研究“熔融还原”冶炼高速钢,对用白钨矿、氧化钼和钒渣冶炼高速钢进行热力学和动力学的计算与分析。在熔融还原过程中, CaWO_4 、 MoO_3 、 V_2O_5 将被 CaC_2 、 Si-Fe 、 SiC 所还原。反应过程包括:固-固反应、液-固反应、铁浴反应和液-液反应。开发了低温快速还原、控制渣量、抑制沸腾等技术。发现还原 WO_3 的限制性环节是 WO_3 在熔渣中的扩散,采取提高渣流动性,扩大反应界面能加快 WO_3 的还原,并使用阻尼剂能有效抑制钼的挥发。在 20 t 的 AC 电弧炉上用氧化物矿工业化生产高速钢 M2 成功,质量优异,具有缩短工序、节约资源、降低能耗,提高成品率和改善环境等优点。综合上述功效,每吨 M2 钢节约成本 2 780 元。应用这一新技术,重庆特钢公司等企业累计生产 M-2 钢 8 981 t。

实践证明熔融还原工艺与传统工艺比较在技术经济和环保方面有显著优越性:(1) 合金收得率高(表 3);(2) 低倍组织及碳化物不均度与世界名牌 ISORAPID2000 相当。因国内电渣浇注锭型较奥地利 Bohler 公司锭型小,结晶器冷却水保持

表 3 熔融还原和铁合金 + 电弧炉工艺生产 M2 钢的合金收得率/%

Table 3 Alloy yield for production of steel M2 melted by smelting reduction and iron alloy + arc furnace process /%

合金元素	钨	钼	钒
项目指标	≥92	≥96	≥90
熔融还原 2947 工艺	97.1	98.2	93.1
铁合金 + 电弧炉工艺	93 × 96 = 89.3	95 × 95 = 90.3	93 × 94 = 87.4

表 4 熔融还原生产的 M2 钢和 ISORAPID2000 的低倍组织及碳化物的比较/级

Table 4 Comparison of macrostructure and carbide in steel M2 produced by smelting reduction process and in steel ISORAPID2000 /class

工艺	规格/ mm	低倍组织		碳化物的 不均度
		一般疏松	中心疏松	
熔融还原工艺	80 × 80	0.5	0.5	4.0 × 2
	Φ105	0.5	0.5	5.0 × 2
ISORAPID2000	80 × 80	0.5	0.5	4.5
	Φ105	0.5	0.5	5.5

紊流,抽锭有二冷体系,故碳化物不均度方面略具优势。具体性能比较见表 4;(3) 钢中非金属夹杂物评级符合美国 ASTM A56 标准(表 5);(4) 钢纯净度高(表 6);(5) 能耗低、冶炼时间缩短(表 7);(6) 环境负荷减轻。

比较传统生产工艺与熔融还原工艺的环境负荷系数($\text{WG} = w_{\text{CO}_2} + w_{\text{SO}_2} + w_{\text{NO}_x}$, t/t)得到如下结果:铁合金 + 电弧炉工艺的 $\text{WG} = 6.047$ t/t,熔融还原工艺的 $\text{WG} = 2.014$ t/t,后者比前者减少 2/3。

此项工作列入国家 863 项目,2002 年通过国家鉴定,获国家发明专利(ZL00129982.4)。2004 年被列为国家重点成果推广项目,在江苏、江西推广。被《世界金属导报》评为 2003 年十大要闻。

4.1.2 电渣重熔与电渣连续浇注^[4]

电渣重熔高速钢与同钢种电炉钢制成铣刀切

表 5 熔融还原生产的 M2 钢中的非金属夹杂物评级/级

Table 5 Examination results of non-metallic inclusion in steel M2 produced by smelting reduction process /class

比较项目	规格/mm	A 类		B 类		C 类		D 类	
		粗	细	粗	细	粗	细	粗	细
熔融还原 M-2	46 × 200	1.0	1.0	1.0	1.0	0	0	0	0
		1.0	1.0	1.0	1.5	0	0	0	0
熔融还原 M-2	46 × 180	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0
		0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0
熔融还原 M-2	62	1.0	1.0	1.0	1.5	0	0	0	0
		1.0	1.0	1.0	1.5	0	0	0	0
ASTMA56 标准		≤2.5	≤2.0	≤2.5	≤2.0	≤2.0	≤1.5	≤1.5	≤1.5

表 6 不同熔炼方式生产的 M2 钢的氧、氮含量/ 10^{-6}
Table 6 Oxygen and nitrogen content in steel M2 produced by different steelmaking process / 10^{-6}

工艺	氧含量	氮含量
日本进口 M-2 钢	66	143
铁合金冶炼	55	157
氧化物还原	55/20 ^①	154

注:①分子系 VD 处理前,分母系 VD 深脱氧后。

表 7 熔融还原和铁合金 + 电弧炉工艺生产 M2 钢的能耗和冶炼时间

Table 7 Energy consumption and tap to tap time of steel M2 melted by smelting reduction and iron alloy + arc furnace process

项目	吨钢电耗/kWh	冶炼时间/min
项目指标	≤550	≤270
熔融还原工艺	542	262
铁合金 + 电弧炉工艺	662 + 480	108 + 230

削寿命比较提高 45%。制成轴承疲劳强度提高 35%。美国 Carpenter 公司,捷克 Polid 联合冶金公司证实因电渣钢提高成材率、降低废品率足以抵偿全部重熔费。日本特殊钢公司生产的高速钢 100%采用电渣生产。世界上公认大断面高速钢 ($\Phi 80 \sim 320$ mm) 应采用电渣重熔生产。奥地利 1998 年 Breitenfeld 采用四流立式连铸机生产高速钢 100 mm 方坯,但产能难于平衡及连铸缺陷未解决,不能稳定生产。作者提出电渣连续浇铸新技术,正在进行工业推广,其原理见图 1。

4.1.3 加孕育剂^[5]

高速钢在凝固前加孕育剂,细化晶粒,缩小莱氏体网距,是改善钢的碳化物不均度,减少碳化物颗粒度,作者多年潜心研究,证实是行之有效的方法,见表 8。

4.2 因地制宜地发展高速钢的资源对策

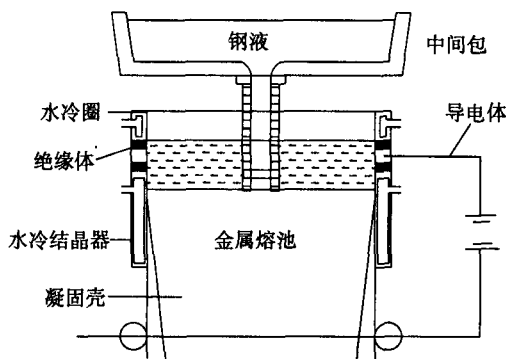


图 1 电渣连续浇铸技术的示意图

Fig.1 Schematic of electroslag remelting continuous casting

表 8 高速钢加孕育剂对莱氏体网距的影响
Table 8 Effect of adding nucleating agent in high speed steel on net distance of Ledeburite

炉号	加孕育剂成分	微量合金含量/%	位置	图像仪实测莱氏体网络间距/ μm		金相显微镜实测莱氏体网络间距/ μm	
				数值	平均	数值	平均
01	不加	-	中	75.86		87.92	
			1/2R 边	108.75	89.22	81.6	82.29
			边	83.06		77.37	
02	Ti + Ce	Ti = 0.082 6 Ce < 0.000 5	中	78.24		57.51	
			1/2R 边	58.49	67.24	65.60	62.12
			边	65.00		63.25	
03	Zr	Zr = 0.005	中	60.78		56.40	
			1/2R 边	58.98	58.62	56.73	57.38
			边	56.11		59.01	
04	Nb	Nb = 0.046	中	78.90		54.29	
			1/2R 边	68.52	65.27	54.96	54.81
			边	48.39		55.17	
05	Ce-La	Ce = 0.032 La = 0.000 4	中	59.73		62.17	
			1/2R 边	65.56	63.56	61.08	64.70
			边	65.39		70.86	
06	TiC	Ti = 0.042	中	63.13		57.45	
			1/2R 边	59.95	66.00	57.20	56.41
			边	74.92		54.58	
07	ZrO	Zr = 0.005	中	66.73		60.04	
			1/2R 边	72.6	67.74	68.45	65.31
			边	63.9		67.45	
08	Ti	Ti = 0.10	中	66.50		58.63	
			1/2R 边	-	66.50	57.03	60.03
			边	-		64.44	
09	Ti + B	Ti = 0.10 B = 0.11	中	49.44		47.22	
			1/2R 边	48.55	48.29	50.10	48.74
			边	46.88		48.89	

4.2.1 国外发展高速钢密切结合本国资源

巴西铌的储量与产量居世界首位,致力于用 Nb 作为高速钢合金元素,并引发了奥地利、德国进行系列探索性研究,揭示出铌的碳化物稳定性较高,使高速钢刀具可在较高温度工作。巴西 Villares 集团开发含 Nb 高速钢 (Nb1% ~ 2%),相应提高 C,减少 Mo,不用 W,开发高速钢 (成分%: 1.1C-4Cr-3Mo-2V-2Nb-0.1Ti),制成 $\Phi 9$ mm 钻头,切削寿命与 M2 (W6Mo5Cr4V2) 钢相当。

南斯拉夫缺乏钨资源,但钼资源较丰富,致力于发展 Mo 系高速钢,生产 AISIM7、JISSKH58,均含 Mo 约 9%。

美国 Teledyne Vasco 公司研究成功在高速钢中加入廉价合金元素 Al 和 Si,以节约昂贵稀缺元素钨、钼、钴。研究表明,在高速钢中同时加入适量的 Al 和 Si,可提高回火温度,避免单独加钼时所引起的回火脆性,从而提高使用性能,并提出 Al 和 Si 相互作用提高刀具寿命的机理。

4.2.2 我国的资源对策

4.2.2.1 发展节约钼的钢

我国钼资源虽不贫乏,但 77% 用于钢铁材料,尚有难熔合金及特种合金亦要用钼,在国际市场上钼价格较钨贵 4~5 倍。为节约钼,我国钢铁研究总院王世章教授研制成 W9Mo3Cr4V。2003 年占总产量 27.16%,它改善了 M2(W6Mo5Cr4V) 高速钢易脱碳、淬火过热敏感与磨削性较差的缺点。它与 W18Cr4V 比较不仅节约 W,而且碳化物不均度得到改善,热塑性较好,能满足四辊扭钻头加工要求。

4.2.2.2 发展节约钴的 Co3N 高速钢及 V3N

国外 M-42 钢含 Co 8%,由于我国 Co 稀缺,为此,我国自行研究的 W8Mo5Cr4VCo3N、W12Mo3Cr4VCo3N 及 W12Mo3Cr4V3N、W9Mo3Cr4V3 钢可部分代替高 Co 钢 M-42。

乌克兰与保加利亚的研究工作者证实,高速钢含 0.1% 的氮,可使二次硬度提高,红硬性提高 HRC1~2,消除粗棒状 M₂C,提高钢的韧性。

4.3 集中生产

国外工模具钢的生产从分散趋向集中,工业发达国家一般都有 1~3 家工模具钢专业生产厂,其产量占全国总产量的 70%~80%。如瑞典的乌德霍姆(Uddeholm)公司、德国蒂森公司(TEW)、奥地利百乐公司(Bohler)、美国卡彭特公司(Carpenter)、钒合金钢公司(Vasco)、日本大同及日立公司、法国欧拉司蒂(Erasteel)、日本安来(Yasugi)等。这些公司设备精良,科研开发费占销售总额的 2%~4%。

近年瑞典的乌德霍姆与奥地利百乐公司合并,成为世界上最大的生产工模具钢公司,生产能力达 25 万 t/年。

4.4 按国际标准生产

按国际标准化组织 ISO-4957-1980(E) 标准生产,高速钢按 Bohler 公司 ISORAPID2000,模具钢按 ISOLOC2000 生产。

4.5 深加工产品

日本大同特殊钢公司大力开展产品深加工和经淬火、回火处理的模块,销售 6 个通用型模具钢种 2 500 多种尺寸模块。模具厂可以采购标准模块,进行模具型腔和刃部精加工,组装交货,生产效率,模具制造周期缩短。

我国江苏天工集团等企业 2003 年用高速钢材 20 675 t 生产成钻头远销欧洲、美国。若生产成精

密的大型铣刀、插齿刀、铰刀,拉刀效益可倍增。作者经调研得出:出售钨铁效益是 1,出售优质高速钢效益是 3,出售精密复杂刀具效益是 21。对于不同应用领域,不同产品形态选用高速钢见表 9。

表 9 高速钢应用领域、产品形态及主要钢种选择
Table 9 Application area, products and grade selection of high speed steel

应用领域	产品形态	主要钢种
金属切削刀具	棒材、钢丝、钢板、钢带、锻件	M2、W9、W18、W4、M2Al、M42、M35
冷作模具	预硬化模板、棒材	M2、V3N、M35、W4
轧辊	离心铸造或复合重熔、棒材	专用钢种,半碳 M2
木工刀具及其它金属切刀	钢板、扁钢、钢带	M2、W4
耐磨件	扁钢、棒材	M2
油泵油嘴针阀	钢丝	M2、W9
空压机叶片	冷拔材	M2 改型

5 结论

(1) 高速钢是资源密集型产品,我国的钨、钼、钒资源丰富,发展高速钢具有潜在优势。

(2) 我国 2003 年生产高速钢材约 6.4 万 t,居世界第一位,但技术上仍落后于发达国家粉末冶金高速钢,含 Co 的 M42 丝尚属空白。

(3) 发展我国高速钢当务之急是采用熔融还原冶炼、电渣连续浇铸、加孕育剂形核等先进技术;建立专门生产高速钢 1.5~2.0 万 t 专业厂 4~5 家,按国际标准生产。

(4) 变资源出口为高速钢深加工产品出口。出口钨铁效益为 1,出口优质高速钢效益为 3,而出口精密刀具效益为 21。

国家自然科学基金资助项目(50374033)

参考文献

- 方季云,王君. 钨国际市场分析. 国际五矿化工贸易, 2001(23):4
- 李正邦. 熔融还原法冶炼高速钢. 钢铁研究学报, 2004, 16(4): 11
- Sengu T. The Production of Ferrochrome by Smelting Reduction With Top and Bottom Converter. New Orleans: TEA 1989: 60
- Zhengbang Li. Development of Electroslag Metallurgy and Casting in China. CHINA FOUNDRY, 2004, 1(1): 7
- 李正邦. 电渣冶金原理及应用. 北京: 冶金工业出版社, 1996

李正邦(1934-),男,教授,中国工程院院士,中国钨业协会副会长。主要研究领域:特种冶金和二次精炼,高温合金、模具钢、高速钢等。

收稿日期:2005-07-13