粉末冶金高速钢应用的局限性

姚红飞，朱冬伟，沈哲明

摘要：钢板钻试用ASP2053、ASP2030、ASP2052三种粉末高速钢来替代国产高速钢M2Al，发现其寿命不及M2Al并分析原因。

关键词：粉末冶金高速钢；M2Al；耐磨性；试用

我公司主导产品之一是高性能高速钢钢板钻，尺寸ϕ12～ϕ65mm，主要用于钢板和铁路钢轨的钻孔，产品有相当部分出口。为应对国内外市场竞争，需进一步提高产品切削寿命及其耐磨性能。数年前在国外最大粉末冶金高速钢（HSSPM）生产厂经销人员的推荐下，曾进行了3种HSSPM的试用。

1. 钢板钻材料分析

我公司钢板钻现主要用国产W6Mo5Cr4V2Al（M2Al钢，见表1），热处理硬度66～67HRC。以往曾用W6Mo5Cr4V2（M2钢，见表1）制造，热处理硬度64～65HRC，其切削寿命不及M2Al。钻孔是连续切削，切削速度25m/min，在冷却条件一般或欠佳（特别是横打孔）情况下工作，而钢板钻的失效以刃口的高温黏附磨损为主，故钢板钻需要有较佳的高温（600℃）硬度。M2Al钢产品性能优于M2钢，也证明了这一点。

2. HSS PM ASP2053的试用

HSS PM生产厂商经销人员提出“高速钢中含钒量高者，比含钒量低的钢种耐磨”这样一个似是而非的说法。此结论经两轮验证，现在看来该经销人员当时对ASP2053钢性能的认识是很片面的。

（1）在国外高速钢公司的样本上，ASP2053是列在高速钢品目中，故该厂经销人员以其作为耐磨性好的HSS推荐给我公司。但仔细推敲ASP2053的[W]当量为9.8%，此值高于低合金HSS要求的≥6.5%，而低于普通HSS要求的≥11.5%，ASP2053在不同回火温度的硬度变化见表2。

从表2可以看出，在560～600℃工作温度段，ASP2053的

表1　各钢种的化学成分及热处理硬度

编号	钢材牌号	化学成分（质量分数，%）						HSS PM	淬回火硬度HRC
		C	W	Mo	Cr	V	Co		
1	M2Al	1.1	6.1	5.0	4.1	2.0	Al 1.0	—	66～67
2	M2	0.85	6.1	5.0	4.1	2.0	—	—	64～65
3	ASP2053	2.48	4.2	3.1	4.2	8.0	—	✓	65
4	301	0.98	3.2	2.2	4.2	1.5	Si 1.0	—	65
5	ASP2030	1.28	6.4	5.0	4.2	3.1	8.5	✓	67
6	ASP2052	1.6	10.5	2.0	4.8	5.0	8.0	✓	67
7	XVC5	1.25	10	3.5	4.2	3.5	10	✓	67
8	YXM60	1.05	5.5	6.5	4.2	1.7	8.0	—	67
9	Cr12MoV	1.5	—	1.0	12	0.35	—	—	—
10	SUH3 4Cr11Si2Mo	0.4	—	1.0	11	—	Si 2.2	—	—
11	U75V	0.75	—	Mn 0.9	—	0.08	Si 0.7	—	40

回火硬度下降比其他钢种剧烈，甚至不如低合金HSS 301钢；其与M2Al钢的相应硬度差距随回火温度的升高而拉大到600℃，已达3.7HRC。本文已经提到，钢板钻需要在钻孔时有较高的高温硬度，M2Al钢在500℃测定的高温硬度为724HV10（折≈61HRC），ASP2053钢的高温硬度要比M2Al的相应值低，结合表2值考虑，显然用ASP2053替代M2Al做钢板钻来提高刀具寿命是不适合的。

（2）从表1的钢材成分看，ASP2053的各个合金元素含量均高于301钢，但其在560℃以上回火的硬度却低于301钢，现试用其回火后碳化物组成相来解释（见表3）。

ASP2053钢在淬火后未溶碳化物中只有数量巨大（14.7%）的高硬度（2800HV）MC，没有M_6C，此MC为钢液雾化过程中直接从液相中析出的先共晶碳化物。其化学成分中合金元素以钒为主，也含有一定量的W和Mo元素（质量分数，约20%）。这大大减少了其后生成的以W和Mo为主的M_6C碳化物数量。在1180℃淬火加热时，此少量M_6C碳化物全部溶入奥氏体（未达到W和Mo在1180℃的饱和溶解度），所以表3中ASP2053钢在淬火后无未溶一次M_6C碳化物。相反301钢的W、Mo元素总含量虽较ASP2053钢低，但其低的V含量，使1.7%的未溶一次MC碳化物（见表3），只需少量W和Mo，301钢有足够量的M_6C碳化物，供淬火加热时奥氏体溶入的W和Mo元素达到饱和，并有1.3%未溶M_6C。

ASP2053在1180℃淬火加热时溶入奥氏体中的W、Mo元素量低于301钢的相应值，其量为W0.7%，Mo1.1%[1]（质量分数）（此值已低于M2钢的正常值W0.8%，Mo1.67%（1230℃淬火）。ASP2053淬火后奥氏体中W、Mo含量较少，使其在560～620℃回火时的硬度低于301钢，更低于M2Al钢[1]。

3. HSS PM ASP2030的试用

HSSPM ASP2030 试用于钻铁道钢轨。根据钢板钻的使用要求，我公司又试用HSSPM ASP2030制造钢板钻（ϕ31mm）进行钻铁路钢轨试验。对比材料为M2Al钢（见表1），ASP2030的高温硬度（560～600℃）与M2Al钢的相同，或略高一点。当时的钢轨材料为热处理后的U75V钢。三种有关材料的特点见表4，U75V钢的高硬度及共析片状珠光体组织，使其难加工。

在钢轨U75V钢热处理后，组织中高硬度（960HV，相当于67HRC）的细片状碳化物（20～

表2　几种高速钢在不同回火温度的硬度

回火温度/℃ ×1h×2次	HSS钢材的回火硬度HRC					
	M2Al（1220℃）	ASP2053（1180℃）	ASP2030（1180℃）	M2（1240℃）	301（1180℃）	M2Al与ASP2053的硬度差值
540	68	66	68	65.5	64.5	2
560	67	65	67	65	65	2
580	66	63	65	64	64	3
600	64	60.3	63	62	62.5	3.7
620	62	57.2	60	60	59	4.8

注：1. 301钢为低合金高速钢W3Mo2Cr4VSi，见表1。
2. 在钢种代号下标的为其淬火温度℃。

表3　淬火后几种高速钢的未溶一次碳化物数量（体积分数，%）

碳化物	ASP2053（1180℃）	M2Al（1220℃）	ASP2030（1180℃）	M2（1205℃）	301（1180℃）	碳化物硬度HV
M_6C	—	7.9	6	7.0	1.3	1600
MC	14.7	2.1	5	1.5	1.7	2800
总量	14.7	10	11	8.5	3	—

注：1. ASP2053/2030成分见表1。
2. 在钢种代号下标的为其淬火温度。

25μm×0.2～0.4μm）的尺寸比HSSPM ASP2030刀具中的碳化物（ϕ1～ϕ2μm）尺寸大。在切削过程中，刀具刃口上微微凸起于基体的细小碳化物，要不断经受钢轨上长细高硬度Fe_3C碳化物的刮削及巨大切削力的推挤，使刀具刃口上的微小碳化物较快脱落，撕裂HSS晶界，使晶粒缺失，而刀具磨损。

M2A1钢为普通熔炼HSS，其碳化物尺寸较HSSPM的粗大，其表面积大，与HSS基体结合力较强，不易受切削力推挤而脱落，因此尽管ASP2030比M2A1钢有较多的高硬度MC碳化物（2800HV），二者的热硬度也几乎相同（见表2），但实际切削寿命两种钢几乎相同。由于ASP2030钢材的单价几乎为M2A1钢的8倍，使二者的性价比有较大差异，不能采用HSSPM-ASP2030替代M2A1做钻钢轨的钢板钻。

4. HSSPM ASP2052的试用

HSS PM ASP2052（见表1）试用于钢板钻螺旋槽的铣槽刀（ϕ63mm）。铣螺旋槽的铣刀是各工具厂都要用到的自用刀具，一般用M2-HSS制造。由于被加工件也是HSS，故磨损较快。为提高M2A1钢钢板钻铣槽刀寿命，试将铣槽刀材料由M2改用HSSPM ASP2052。ASP2052为目前高速滚齿滚刀和干切滚齿滚刀的首选材料（见表1），其是高钒（5%）高钴（8%）高性能HSS。M2、ASP2052和M2A1三种材料的特征见表5。

高碳M2A1 HSS退火组织难加工的特点为：

（1）大量高硬度碳化物质点总量达23.5%（体积分数，%），而一般工程材料此值甚低（见图4）。

（2）通用高速钢中铬的碳化物为$M_{23}C_6$（硬度1000HV），在高碳HSS中部分为M_7C_3（硬度1800HV）。

（3）有较大的碳化物（12～16μm），形成硬质点。

切削试验的结果ASP2052钢铣槽刀并不比M2钢的优越，尽管ASP2052钢铣槽刀在淬火硬度、未溶碳化物数量及高硬度MC碳化物数量（9.5%）上均比M2钢优越（见表5），但其刃口上众多微细碳化物在铣削M2A1

表4　M2Al，ASP2030和U75V的材料性能特征

编号	项目	钢板钻材料				钢轨材料
		HSSPM ASP2030		M2Al		U75V
1	硬度	66～67HRC		66～67HRC		>360～380HBW
2	材料组织③	淬回火马氏体+未溶碳化物				>80%片状+球状珠光体
3	组织中碳化物总量(体积分数，%)	11①		10②		～12
4	各类碳化物数量（体积分数，%）	M_6C	MC	M_6C	MC	细长 Fe_3C
		6	5	7.9	2.1	≈10
	碳化物硬度HV	1600	2800	1600	2800	960
5	碳化物颗粒尺寸/μm	球形<4		9.5×6	8.1×5	细长状Fe_3C 20～35（长）×0.2～0.4(宽)
	大多数尺寸	1～2		2～4		—

① 淬火温度1180℃。
② 数据来自成都工具研究所M2Al钢研究报告　淬火温度1220℃。
③ 参见金相图1～图3。

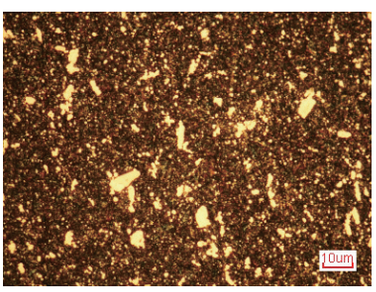

图1　M2Al淬回火态组织

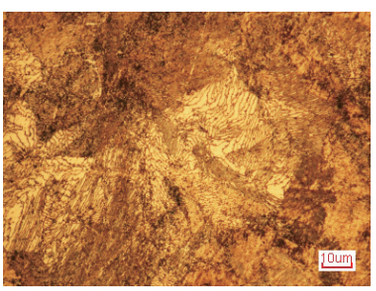

图2　钢轨U75V组织

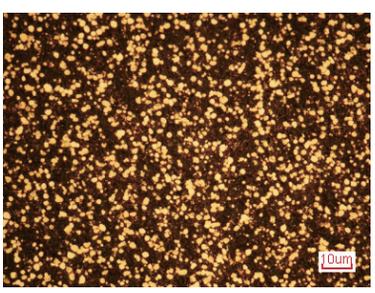

图3　ASP2030淬回火态组织

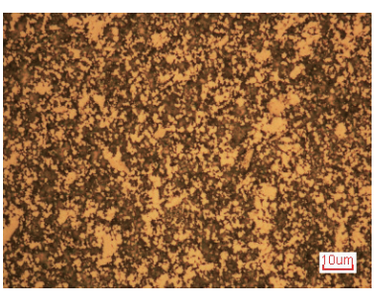

图4　M2Al退火态组织

表5 M2、ASP2052和M2Al的材料性能特征

编号	项目	铣槽刀材料				钢板钻材料		
		HSS PM ASP2052		M2		M2Al		
1	硬度	66～67HRC		64～66HRC		240～250HBW		
2	材料组织	淬回火马氏体+未溶碳化物				退火索氏体+碳化物		
3	组织中碳化物总量（体积分数，%）	14.5①		8.5③		23.5②		
4	各类碳化物数量（体积分数，%）	M_6C	MC	M_6C	MC	M_6C	$M_{23}C_6$+M_7C_3	MC
		5	9.5	7.0	1.5	14	7	2.5
	碳化物硬度HV	1600	2800	1600	2800	1600	1000～1800	2800
5	碳化物颗粒尺寸/μm	球形 <4		14～16		12～16		
	大多数尺寸	1～2		1～4		2～6		

① 淬火温度1240℃。
② 数据来自成都工具研究所M2Al钢研究报告。
③ 淬火温度1230℃。

钢沟槽组织中遇到数量众多，尺寸较大，特别是大尺寸的碳化物时，前文所述的ASP2030钢的失效情况照样在ASP2052钢上发生。此处不再重复，是以ASP2052钢铣槽刀未显其比M2钢的优越性。由于ASP2052与M2钢的性价比相差较大，我公司仍使用M2钢制作铣槽刀。

5. 讨论

世界上著名HSSPM生产厂发表的HSSPM刀具应用案例，皆为成功案例。文中的HSSPM应用案例结果，到底是工厂试验不严密所致，还是正确的结果，难免引人怀疑。日本日立金属安来钢厂（日本最大的HSS生产厂）在20世纪80年代有一篇关于HSS PM XVC5（见表1）和超硬高速钢YXM60（见表1）制立铣刀性能对比试验。其中有两种被加工材料对我们有很好的参考价值。

HS PMS XVC5和YXM60的淬回火硬度均为66～67HRC，均有很好的热硬性，第一种被加工材为耐磨冷作模具钢Cr12MoV（见表1），退火硬度240HBW。HSSPM XVC5的切削寿命只为YXM60的60%，要低很多。原因为Cr12MoV的退火组织中有18%（体积分数）的高硬度M_7C_3碳化物，其硬度达1800HV，颗粒尺寸大，达18～24μm，且大颗粒数量多。

此例的结果与本文的论点是相同的，另一种被加工材料是调质到硬度345HBW的耐热钢4Cr11Si2Mo（见表1），其组织为索氏体与铁素体。HSS PM XVC5的切削寿命为YXM60的140%，要高不少。原因为此耐热钢的调质硬度高达345HBW，使立铣刀的切削力要增大约50%（相对硬度170HBW者而言）。HSSPM淬回火后的力学性能优于普通熔炼HSS，特别是韧性。这减少了立铣刀刃口的微崩刃，降低了刀具磨损，增长刀具寿命。

反观文中的钢轨硬度也高达360～380HBW，理应对HSSPM ASP2030的钢板钻工作寿命有利，但U75V钢轨的粗片Fe_3C硬碳化物还是导致其失利。附带申明一点，本文论及的HSS PM ASP2030、ASP 2052和ASP 2053皆为销量不错的名牌HSSPM，皆有其能发挥效能的众多场合。

6. 结语

具有均匀细小碳化物的“HSSPM 刀具”不适宜加工普通熔炼的高速钢（如M2、W9）、高性能高速钢（如M2A1、M35）、高铬冷作模具钢（如Cr12、Cr12MoV、Cr12Mo1V1），以及共析调质钢轨U75V等钢种，上述被加工材料的共同特点为组织中有数量较多、尺寸较大的高硬度碳化物。

参考文献

[1] 吴立志.低合金高速钢组织性能及合金化探讨[J].河北冶金，1991，02.

作者简介：姚红飞、朱冬伟、沈哲明，浙江欣兴工具有限公司。

MW 20170116