

钛酸钾粉末在摩擦材料中运用的研究

*徐仁泉 龙德武 廖兵 俞飞

关键词：摩擦磨损 陶瓷型 噪音

提要：粉末钛酸钾用于摩擦材料,对提高摩擦材料的摩擦磨损性能,提高刹车片高温性能,和速度特性,减少制动噪音,减少黑灰污染,提高摩擦材料的安全性,舒适性和耐磨性,有着十分重要的作用,特别适用于替代昂贵的重金属硫化物和昂贵的钛酸钾晶须的低成本浅色陶瓷型摩擦材料。

一：概况：陶瓷型摩擦材料是近十年来发展较快的摩擦材料,特别在汽车摩擦材料中,陶瓷型摩擦材料以摩擦磨损性能稳定,噪音低,黑灰少等特点迅速发展,本文作者在陶瓷型摩擦材料中用粉末钛酸钾进行了试验研究,取得了良好的效果。

二：试验的基本配方：

1 盘式刹车片,其基本配方如下:

芳倫 (韩国可隆)和有机纤维	广东鑫冶	5-8%
无机纤维	华东特种	5-10%
金属纤维或粉末	常州华宇和北京	5 -20%
黏合剂和橡胶	十拿和黄山	5-12%
高碳材料	天然石墨 人造石墨 煅烧石油焦等	5--25%
钛酸钾粉末	宜兴市振奋药用化工有限公司	5-20%
其他功能填料 硫酸钡,多孔填料,硫化物,蛭石,云母,摩擦调整剂等。		

粉末钛酸钾技术指标如下 (K_2TiO_3 质量指标: 一型)

TiO_2	$\geq 60-65\%$
K_2O	$\leq 25-32\%$
S	$\leq 0.04\%$
P	$\leq 0.04\%$
細度(200 目篩余)	$\leq 0.5\%$
外觀:	白色或微黄色粉末

2 鼓式刹车片基本配方

有机粘合剂和橡胶 8-15%

无机纤维 15-35%

有机纤维 3-8%

粉末钛酸钾 5-20%

功能填料 适量

样品均采用普通的正模的热压工艺压制。

- 徐仁泉 高级工程师,摩擦密封材料协会专家委员会会员,长期从事摩擦材料的开发研究。
- 龙德武 广州东神汽车配件有限公司开发部
- 廖兵 东莞安驰汽车配件有限公司研究所
- 俞飞 宜兴市振奋药用化工有限公司

三：试验方法和试验结果：

1 试验方法 除按照SAE J661进行摩擦磨损试验外,盘式刹车片按照美国的SAE J 2522

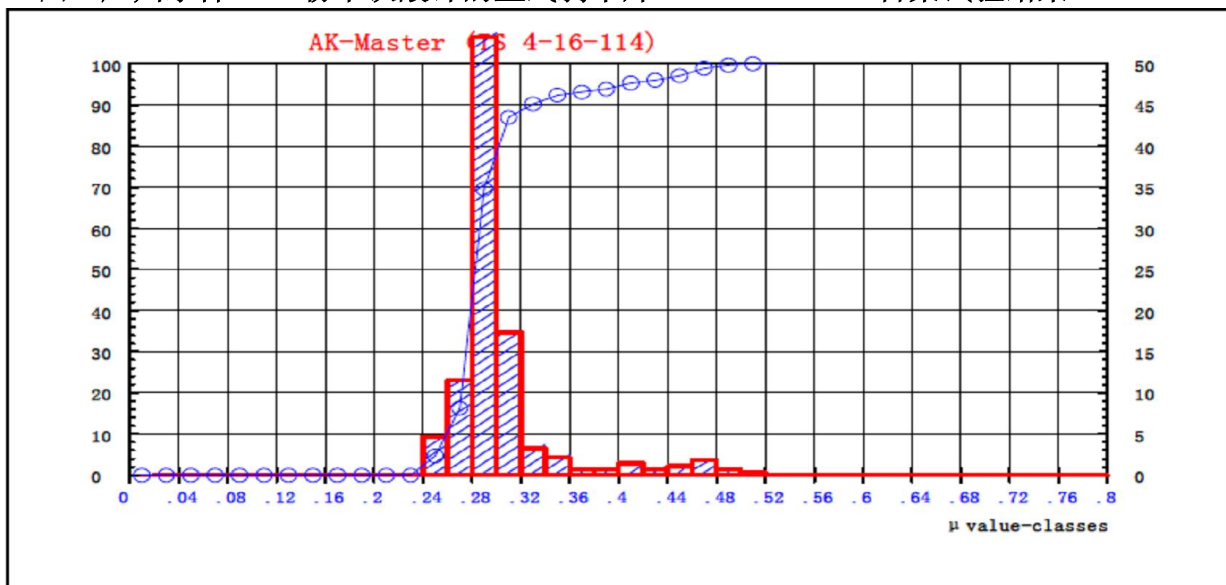
Dynamometer Global Brake Effectiveness (AK MASTER)进行摩擦性能试验和按照SAE J 2521 **Disc and Drum Brake Dynamometer Squeal Noise Matrix**盘式和鼓式刹车片噪音台架试验方法进行了噪音试验,试验盘式刹车片用广州东神汽车配件公司生产,帕萨特D555超静陶瓷型刹车片,试验台采用长春晨禹科技有限公司的**HA 202惯性试验台**,测试结果见图1, 图2, 试验过程每片刹车片质量磨损16.5克。按照SAEJ2521 噪音试验结果见图3和图4。鼓式刹车片由东莞安驰汽车配件有限公司生产的FMSI -S514刹车片,在美国Chevy S10 制动器上进行试验, 试验按照ISO26867, Road vehicles — Brake lining friction materials — Friction behaviour assessment for automotive brake systems道路车辆制动系统刹车片摩擦材料摩擦性能的评定。按照SAE2522盘式和鼓式刹车片噪音台架试验方法进行了噪音试验,按照SAE2707 **Wear Test Procedure on Inertia Dynamometer for Brake Friction Materials** 摩擦材料磨损台架试验程序进行磨损试验。在美国Centric公司进行了ISO26867测试性能的概要见表1,试验结果见图5-1和图5-2, 和 国内外公司在同一条件下测的摩擦特性, 噪音和磨损试验的结果见表2 其中包括摩擦性能,噪音和磨损的台架试验结果, 表中是部分比较好的国内外公司的数据,排序分别从99-59 ,以高的为好。.

四 试验结果分析讨论

(1)关于材料的制动性能

评价制动性能一般以速度稳定性,压力稳定性和和高温和衰退恢复等性能来评估, 台架试验结果表明,无论是盘式刹车片和鼓式刹车片,在试验台上都有比较好的摩擦性能, 见图 1, 盘式刹车片的压力和速度特性平稳,二次衰退较好,高温 100 到 500 度和 500 度高温制动系数较好, 我们在质量控制的小样试验摩擦系数随温度升高稍微升高,指定摩擦系数 0.38, SAEJ661 摩擦系数为 FF。从台架试验数据看摩擦系数不高, 但十分平稳, 只有平稳的摩擦系数才能保证制动的舒适性。而且数据分散带小, 见图 2

图 2 广州东神 10%粉末钛酸钾的盘式刹车片 AK MASTER 台架试验结果



由于高温时摩擦系数较好, 500 度高温和二次衰退到 600 度都有较好的摩擦系数, 这样保证制动的安全, 摩擦系数如果需要提高, 可以用摩擦调整剂进行调整。鼓式刹车片各种工况的制动性能见图 5, 与国外较好的鼓式刹车片相比, 也有较好的摩擦性能, 平均效能, 衰退试验的制动系数较接近, 表 1 中是摩擦材料的各个试验程序的实验结果, 在各个试验段, 无论是高速或低速低压性能都比较好, 数据同国外比较好的公司接近或稍好。见表 2。

(2) 关于磨损:在试验台上都比较小,在美国磨损的测试比较结果,磨损较好,无论是刹车片磨损或对偶磨损, 表 2 的比较结果充分说明了这一点, 磨损试验中制动系数高, 但刹车片和刹

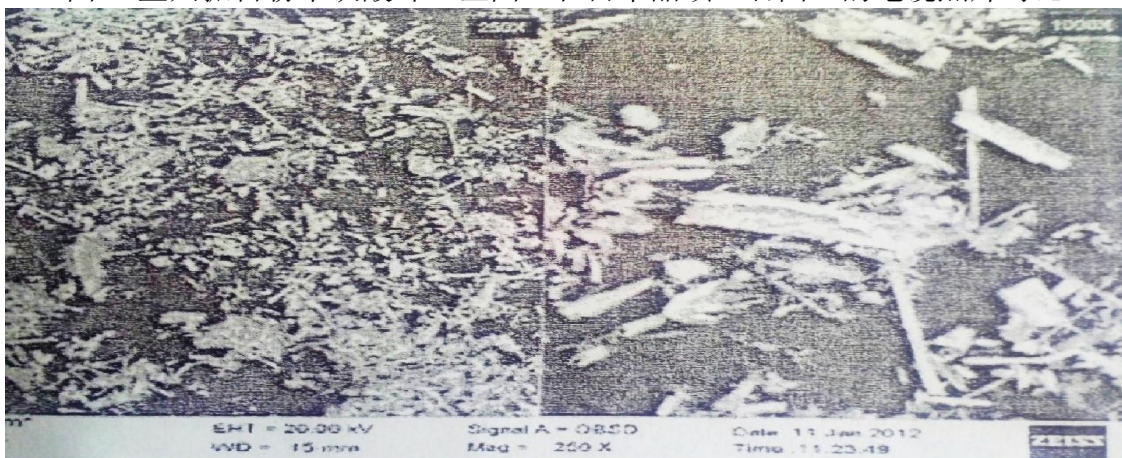
车鼓的磨损小,灰度低。其他对比的样品中,没有一个是全部 90 以上的。盘式刹车片试验结果也类似,我们在盘式刹车片的实际装车中很少有客户反应不耐磨的,由于磨损较低和刹车片颜色较浅,又不用或者减少了硫化物如硫化锑等低熔易分解材料的用量,因此黑灰较少。台架对比结果也说明了这一点,灰度系数为 2,见表 2。

(3) 关于噪音,表 2 中有鼓式刹车片在美国比较测试结果,测试表明,在相同的条件下含有粉末钛酸钾的样品较好,发生噪音的次数较少,而且摩擦性能稳定,磨损小,有的刹车片虽然噪音较小,但在摩擦性能方面制动效能不好,或磨损很大。盘式刹车片的试验结果相似,见图 3 和图 4,多个含有钛酸钾的样品按照 SAE2521 测试,都有很好的效果。噪音也比较小,对于 2000HZ 70 分贝以上的在全部试验中一般不到 10%。

图4:含有10%钛酸钾粉末的帕萨特盘式刹车片SAE 2521 噪音分析结果

制动噪音频率范围分析Number of Noisy Stops (per frequency range / apply type)									
Frequency Range	Threshold	Overall	Drag	Decel	Back/Fwd	Overall	Drag	Decel	Back/Fwd
頻率範圍	分貝數	全部	拖磨	剎車	進退	全部	拖磨	剎車	進退
		發生次數				發生百分比			
2 kHz to 18 kHz	>70 dB(A)	129	0	0	0	8.3%	0.0%	0.0%	0.0%
	>80 dB(A)	51	0	0	0	3.3%	0.0%	0.0%	0.0%
2 kHz to 4kHz	>70 dB(A)	3	0	0	0	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%
	>80 dB(A)	1	0	0	0	0.1%	0.0%	0.0%	1.0%
4 kHz to 6kHz	>70 dB(A)	3	0	0	0	0.2%	0.0%	0.0%	3.0%
	>80 dB(A)	2	0	0	0	0.1%	0.0%	0.0%	2.0%
6 kHz to 10 kHz	>70 dB(A)	122	94	13	15	7.9%	11.8%	3.5%	15.0%
	>80 dB(A)	48	1	0	7	3.1%	0.1%	0.0%	7.0%
10 kHz to 14 kHz	>70 dB(A)	1	0	0	0	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
	>80 dB(A)	0	0	0	0	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
14 kHz to 18 kHz	>70 dB(A)	1	0	0	0	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
	>80 dB(A)	0	0	0	0	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
剎車总次数Total # of Stops						1554	798	368	100

图 6 宜兴振奋粉末钛酸钾（左图）和日本晶须（右图）的电镜照片对比



我们在多个车型装车中也有比较好的效果,制动效能稳定,噪音较少,黑灰少,耐磨性好。目前中低摩擦系数的陶瓷型摩擦材料更能适应市场的需要,由于陶瓷型的摩擦材料摩擦稳定

性能如压力特性,速度特性和温度特性度比较好,这样容易保证摩擦材料的制动安全性,平稳的摩擦系数可以减少和降低制动噪音

(4) 关于钛酸钾粉末,宜兴钛酸钾粉末与日本晶须的电镜对比见图 5, (图片由日本公司提供), 从图可见, 钛酸钾晶须纤维较长较粗, 粉末钛酸钾实际上也有大量的小晶片, 虽然, 在倍率较低的显微镜或用肉眼观看时是粉末, 在陶瓷烧结中, 一般都用比较细的粉末, 较细的粉末更容易陶瓷化。钛酸钾是有碳酸钾和钛白粉在 1200 度左右经过高温固相反应制成, 是一种晶片和粉末的混合物, 在刹车片在高温制动时, 表面恒定温度在 600 度, 但实际上表面闪火温度在 1000 度以上, 加上有较高的制动压力, 实际接触点的压力远远大于制动的平均压力. 因此表面会进一步固相反应, 和其他材料相互作用生成稳定的摩擦表面层, 以达到稳定摩擦系数, 提高耐磨性等目的, 当然, 摩擦材料的配方是一个十分复杂的理论, 陶瓷型摩擦材料一般含有多种材料, 钛酸钾在其中的作用机理也比较复杂, 虽然加入钛酸钾的摩擦材料有很好的摩擦磨损性能, 但其机理尚需要进一步试验研究如晶须, 晶片粉末在固相反应后的状态,。目前在市场比较多试用晶须, 但在美国, 钛酸钾晶须也属于限制使用的材料, 目前市场的叫晶片, 从摩擦磨损性能和作用机理和粉末钛酸钾相类似. 由于有些钛酸钾中加有改性的成分, 如日本的 PM 是钛酸镁钾。或非钛酸钾成分的添加剂或其他成分如氧化钛矿物金红石, 钛铁矿等其他杂质元素, 可以提高摩擦系数, 因此粉末钛酸钾的摩擦系数稍微低一些, 这完全可以用摩擦调整剂调整, 在一些工程塑料中, 钛酸钾晶须能增加强度, 但在摩擦材料中, 钛酸钾晶须或晶片对强度并没有较大的作用, 因为刹车片不是致密的塑料。因此, 一般还得用芳纶, 碳纤维, 芳纶或无机纤维等增强。由于摩擦材料在制动中的固相反应, 因此在实际上, 所有在表面层的材料都发生物理或化学变化, 象陶瓷烧结一样, 即使是晶体, 晶须等或如石膏 (硫酸钙晶须) 石棉, 硅酸钙, 水镁石, 矿物纤维等纤维状材料, 或一些氧化物, 硫化物, 硅酸盐, 金属也不可能保持原来的形态和结构, 因为其中有物理变化, 也有化学变化。我们摩擦材料的烧结是动态的, 不连续的。而陶瓷的烧结是连续静态的. 因此有相当的差别, 但总体还属于陶瓷的固相反应。

5 关于陶瓷型摩擦材料, 目前并没有一个统一的定义, 一般的都含有不同含量的铜, 有些配方铜的含量很高, 陶瓷型摩擦材料的树脂等有机粘合剂含量不高, 一般树脂的耐温性和其它的有机材料如橡胶, 有机纤维等类似, 在高温时碳化或分解, 燃烧等, 因此摩擦材料的高温性能主要依靠在摩擦材料使用中产生的高温使各种材料陶瓷化, 其中易熔金属, 金属氧化物, 钛酸钾, 硅酸盐, 硫化物, 氟化物等在界面产生固相反应。生成耐磨和摩擦性能稳定的表面层。用粉末钛酸钾和钛酸钾晶片相比生成的表面层有没有差异, 尚需要进一步试验研究。由于粉末钛酸钾在价格方面有明显的优势, 价格一般只有六钛酸钾的三分之一, 我们用加有钛酸镁钾, 钛酸锂钾等钛酸钾晶片的样品进行台架试验, 在摩擦稳定性, 耐磨性没有明显的差异。因此可以认为, 粉末钛酸钾同样可以作为陶瓷型摩擦材料的较好的主要的功能填料, 对于稳定摩擦系数, 改善摩擦材料的速度特性, 高温摩擦性能和耐磨性等都有较好的作用。

在欧洲摩擦材料中采用高碳, 硫化物和高摩擦填料体系。此类配方容易发生噪音和黑灰, 加有粉末钛酸钾的摩擦材料可以减少或克服这方面的缺陷, 由于比较便宜, 比六钛酸钾和硫化锑 (价格为粉末钛酸钾 3 倍左右), 二硫化钼等便宜得多, 这样可以提高加入量, 降低摩擦材料中碳的含量和减少或不用硫化锑, 以达到摩擦材料浅色的目的, 因此特别适用于浅色的陶瓷型摩擦材料。目前如美国摩擦材料网站的图片相当一部分是浅色的, 而且目前国内外不少摩擦材料公司也已经广泛使用粉末的钛酸钾。

五 结论

1 试验结果表明: 粉末钛酸钾用于摩擦材料, 对于改进摩擦材料的摩擦性能, 稳定摩擦系数, 改善摩擦材料的速度特性和高温性能, 耐磨性好, 降低了摩擦材料的噪音, 对于提高摩擦材料的安全性, 舒适性和耐磨性均有较好的作用。是比较好的陶瓷型摩擦材料的功能

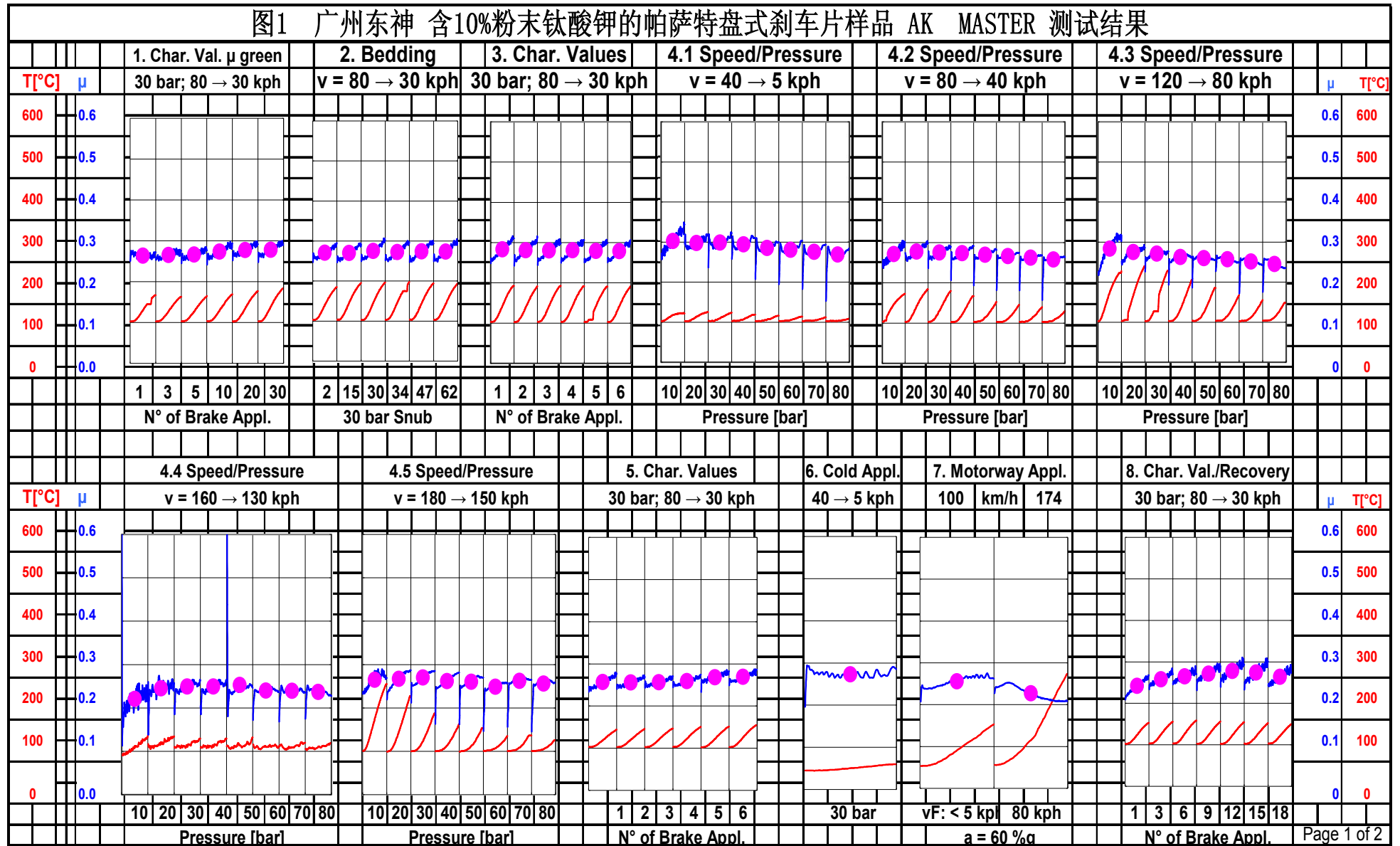
填料。

2 粉末钛酸钾实际上也是微晶片状的,以前用于其他行业,但价格明显低于其他钛酸钾,硫化锑等,可以增加用量和降低摩擦材料的成本。特别适用于成本较低的浅色的陶瓷型摩擦材料。

3. 对于其在摩擦材料中作用机理尚需要进一步试验研究。

4. 对于和六钛酸钾或其他钛酸钾的比较,也应该进一步深入研究。

图1 广州东神 含10%粉末钛酸钾的帕萨特盘式刹车片样品 AK MASTER 测试结果



钛酸钾粉末在摩擦材料中运用的研究

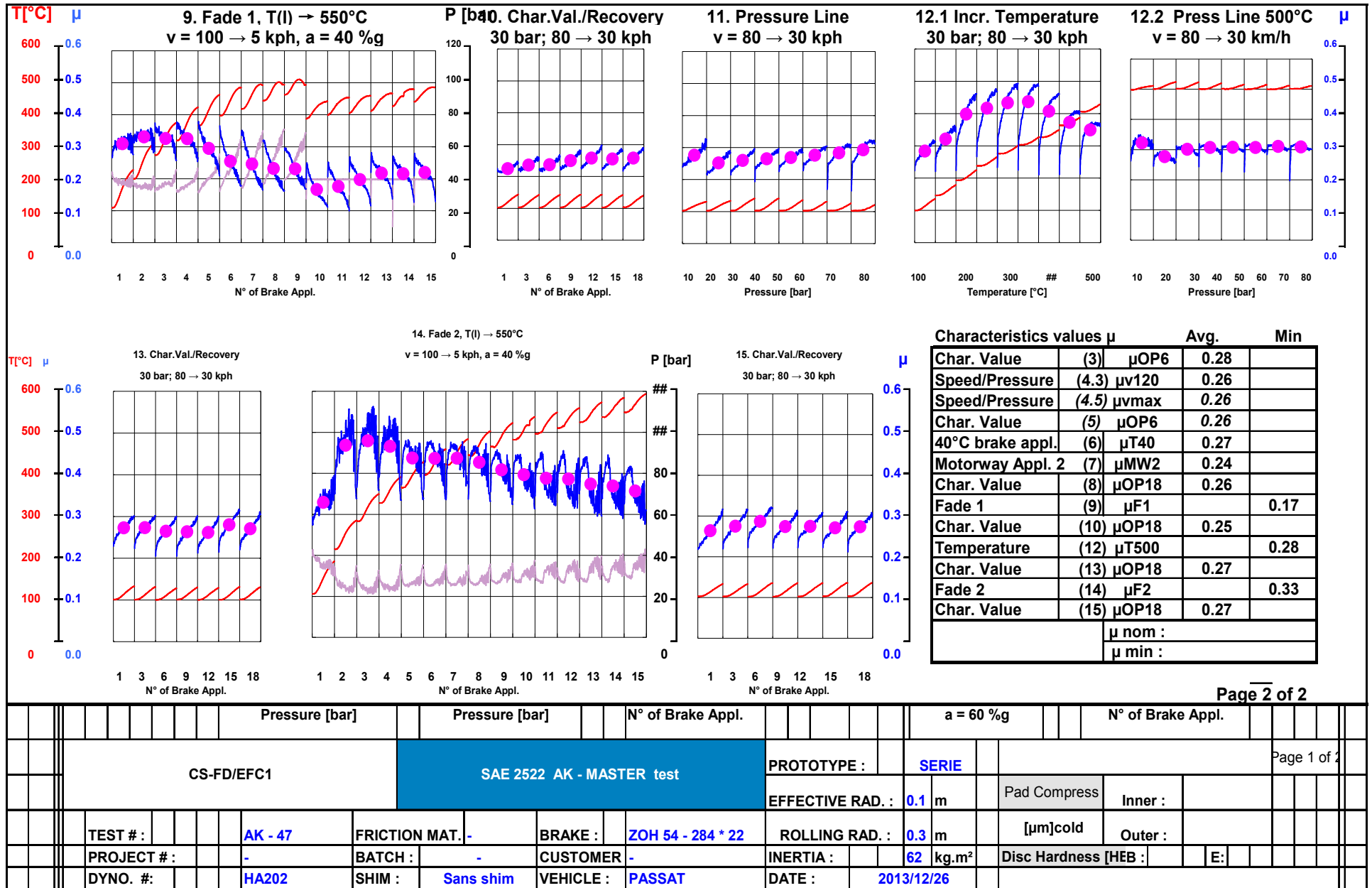


表1 含有18%粉末钛酸钾的样品SAE 26867测试摩擦性能汇总Summary Sheet

Test #:20130125-2		STOPTECH Brake Dynamometer Testing							
Test Procedure:ISO26867				样品 F3-016 (含18%钛酸钾样品)					
	s414	Decel减速度		Torque力矩		Pressure压力		BEff*	
		g		n*m		bar		制动效能系数	
Section	Description	AVG	MAX	AVG	MAX	AVG	MAX	AVG	MAX
100	6.1 Green Characteristic原始特性	0.07	0.08	101	110	30	30	0.47	0.54
200	6.2 Burnish磨合	0.27	0.54	371	728	68	137	0.81	1.07
300	6.3 Characteristic Value 1特性1	0.14	0.14	188	193	30	30	0.92	0.94
400	6.4 Ramp Applications	0.1	0.11	138	144	27	27	0.69	0.72
500	6.5 (Cold) Characteristics冷特性	0.14	0.15	184	207	30	30	0.89	1.01
600	6.6 Low speed\Low pressure低速低压	0.15	0.24	202	326	30	40	0.88	1.19
700	6.7 Pressure Line压力特性	0.16	0.37	212	495	32	60	0.71	1.20
800	6.8 Speed Line速度特性	0.11	0.15	151	199	30	30	0.74	0.97
900	6.9 Failed booster失效	0.11	0.12	148	157	28	28	0.77	0.81
1000	6.10 Motorway Application高速特性	0.36	0.51	492	691	113	149	0.62	0.68
1100	6.11 Low speed/Low pressure低速低压	0.13	0.13	175	175	30	30	0.75	0.75
1200	6.12 Characteristic Recovery恢复	0.14	0.14	183	195	30	30	0.89	0.95
1300	6.13 Fade 1 一次衰退	0.37	0.4	492	541	89	94	0.83	1.09
1400	6.14 Hot Performance 300 deg C热特性	0.2	0.2	276	276	35	35	0.85	0.85
1500	6.15 Low Speed \ Low Pressure低速低压	0.1	0.1	138	138	27	27	0.63	0.63
1600	6.16 Characteristic Recovery恢复特性	0.17	0.17	225	225	30	30	1.10	1.10
1700	6.17 Pressure Line压力	0.26	0.5	354	679	35	60	1.20	1.69
1800	6.18 Fade 2 二次衰退	0.39	0.4	526	541	56	62	1.42	1.55
1900	6.19 Low Speed Low Pressure低速低压	0.21	0.35	282	40	30	40	1.12	1.71
2000	6.20 Final Characteristics最后特性	0.23	0.24	316	326	30	30	1.54	1.59

表2 含有18%钛酸钾的鼓式刹车片样品(F 3-016)台架三项试验与部分其他公司的结果比较

	摩擦性能试验ISO 26867				S514 - SAEJ2521 Noise Test Analysis			S514 - SAE J2707 Wear Test Analysis								
日期和试验号	S514 - ISO 26867 Test Analysis								平均效能							
Test Number	Standard Drum:122.66 Standard Wheel Cylinder:134.65	一次衰退 平均效能	二次衰退 平均效能	全部试验 平均效能					Effectiveness	RANK						
	标准鼓122.66 标准轮缸134.66	Avg Effectiveness 制动系数			Test Number	noise events	排序	试验号	Full Test	排序	AvgShoe Wear	RANK	MaxDrum Wear	RANK	Dust Quotient	RANK
	Friction摩擦材料	Fade 1	Fade 2	Full Test	试验号	噪音次数	59-99	Test Number	全过程	70-99	刹车蹄磨损mm	70-99	刹车鼓磨损mm	70-99	灰尘指数	等级
20130125-2	F3-016 深圳 安驰	0.83	1.42	0.85	20121221-2-2	600	96	20130218-2	2.30	92	0.41	93	0.10	90	2	99
20121119-2-2	MK/Nisshinbo S514 日本				20121031-2-2	870	90	20121119-2-2	1.18	71	0.44	95	0.11	92	2	99
20110926-2	Wagner PAB 514R 英国 FEREDO				20110930-2	671	95	20110926-2	1.02	70	0.54	86	0.09	95	2	99
20110913-2	Raybestos 514 PG 德国	0.99	1.08	0.96	20110908-2	505	97	20110913-2	1.22	72	0.48	89	0.14	88	3	87
20120312-2	Rui Yang R514 瑞阳	0.42	0.39	0.29	20120224-2	1,155	84	20120307-2	1.42	74	0.45	92	0.07	97	2	99
20121102-2	Xinyi XY5122F Semi-Metallic信义半金属	0.98	1.14	1.35	20121018-2-2	763	94	20121102-2	1.90	80	0.48	87	0.12	91	2	99
20120410-2	Durabrakes NST808 Premium Grade 美	1.01	1.13	1.42	20120424-2	1,170	83	20120410-2	2.29	92	0.38	97	0.17	84	3	87
20110825-2	Braxe PGS 美国公司	0.92	1.05	0.82	20110901-2	870	90	20110825-2	1.53	75	0.44	94	0.24	74	4	78
20121112-2-2	Dongying Haiyi Semi-Metallic东营海义	0.73	1.23	0.99	20121023-2	1,431	75	20121112-2-2	2.28	91	0.45	92	0.17	84	3	86
20120216-2	Xinyi XY5122E Semi Met信义半金属	0.74	0.91	1.35	20120202-2	1,605	68	20120216-2	2.13	89	0.55	85	0.07	97	2	99
20120927-2-2	Norstar BN 802 FF 北泰	0.65	1.44	1.08	20120827-2	943	88	20120927-2-2	1.99	82	0.57	81	0.18	81	3	87
20120227-2	Xinyi XY5505 Organic 信义有机	0.98	1.08	0.96	20120213-2	1,143	85	20120227-2	1.76	78	0.61	76	0.16	86	3	87
20121025-2	Xinyi XY 5501 Organic 信义有机	1.56	2.19	2.16	20121008-2-2	1,642	65	20121025-2	2.85	98	0.45	93	0.15	87	3	87
20121012-2	Unibrake Positive Mold 优耐 正模	1.20	1.49	1.15	20121003-2	1,274	79	20121012-2	2.39	94	0.56	84	0.19	79	4	78
20110329-2*	Centric Luda 山东鲁达	0.86	1.01	1.21	20110318-2*	282	98	20110329-2*	2.40	95	0.93	72	0.43	70	7	70
20120329-2	Durabrakes BN802A Economy Grade	0.75	1.17	0.99	20120305-2	1,077	86	20120329-2	2.31	93	0.57	78	0.23	75	4	78
20120829-2	Roulunds DB 778 EE劳伦次 欧洲	0.67	0.46	0.53	20120920-2-2	1,362	77	20120829-2	1.24	73	0.76	73	0.17	84	3	87
20120914-2	Roulunds DB777 FF劳伦次 欧洲	0.84	0.76	0.92	20120809-2	1,392	76	20120914-2	1.59	77	0.65	75	0.28	72	5	74
20120112-2	Yangchen Fantian High Quality盐城方太	0.60	0.78	1.11	20111227-2	1,711	59	20120112-2	2.80	97	0.58	77	0.25	73	4	78

图 3:含有 10%钛酸钾粉末的帕萨特盘式刹车片 SAE 2521 噪音试验结果

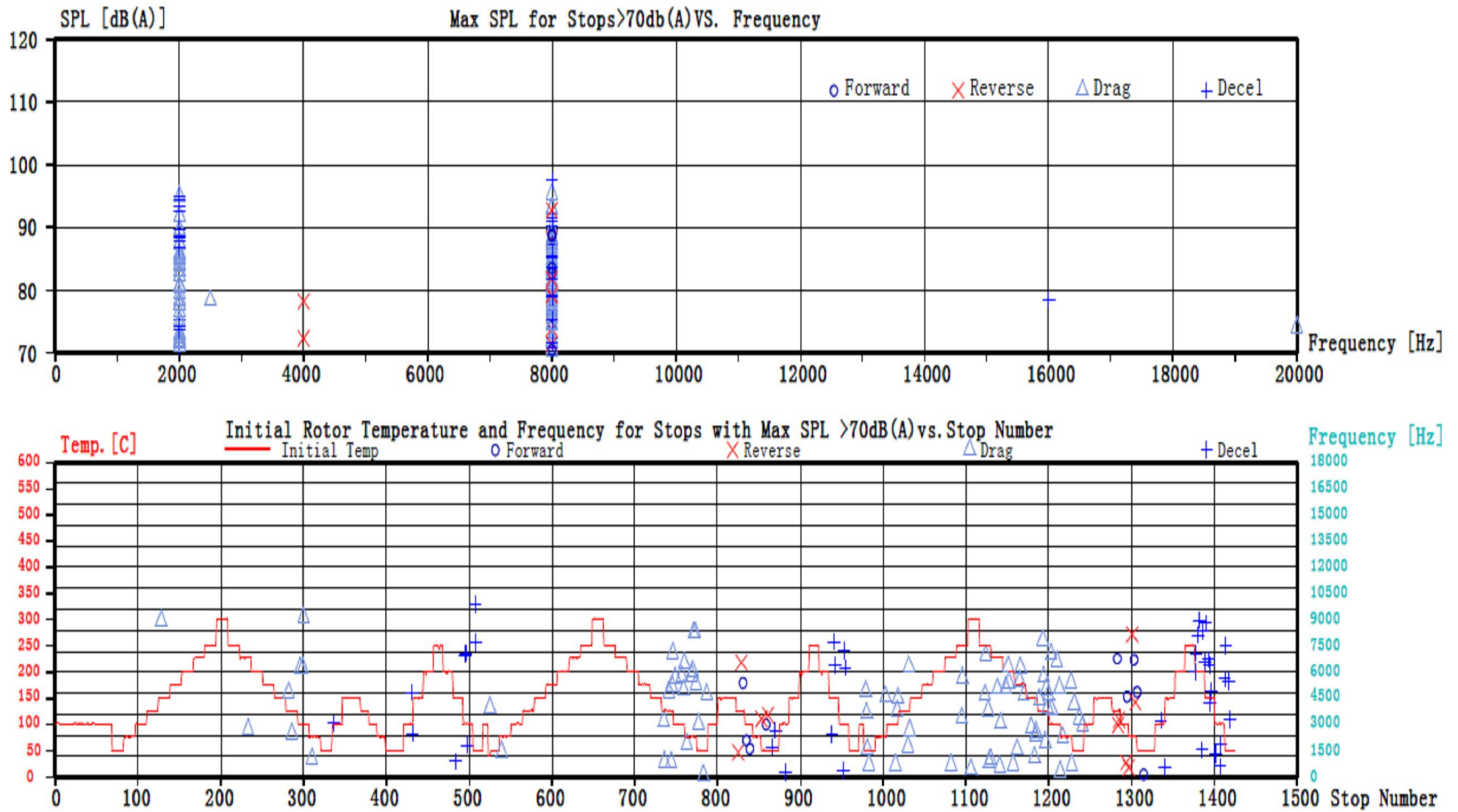


图 5-1 含有 18%粉末钛酸钾的鼓式刹车片 ISO 26867 台架试验 结果

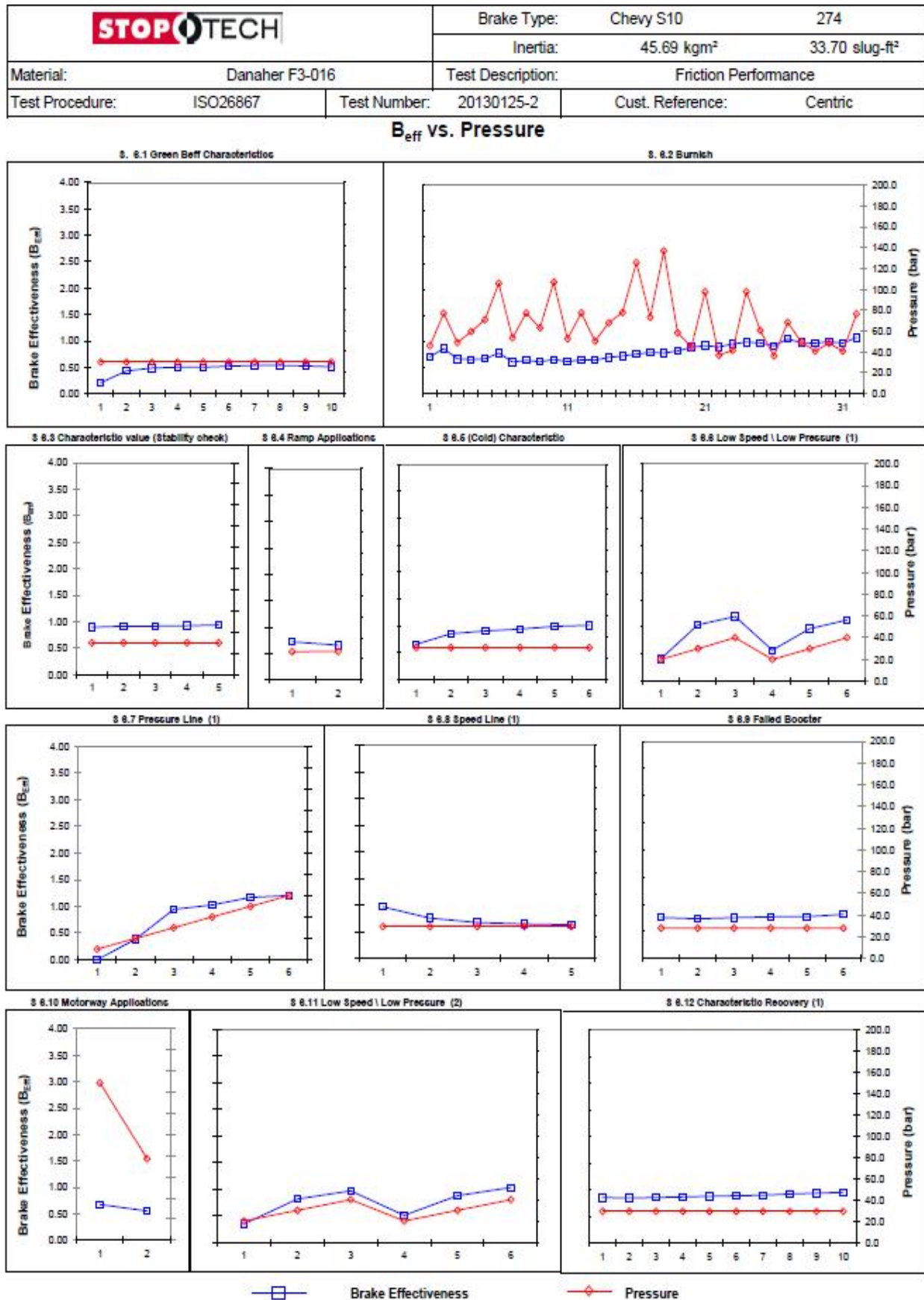


图 5-2 含有 18%粉末钛酸钾的鼓式刹车片 ISO 26867 台架试验 结果

