

金属陶瓷生成剂的应用与机理

王德志 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

金属陶瓷生成剂的 应用与机理

王德志 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

金属陶瓷生成剂是金属磨损自修复材料(ART)、哈多(XADO)等同源、异名技术的代名词。本书主要介绍了这项表面工程技术,在国内铁路机车、汽车、轮船、不同机械装备等领域的现场工程应用成果与实践经验;同时,在归纳金属陶瓷生成剂技术机理研究成果的基础上,推出了机理的系统表述;还收录了这项技术优异理化性能在国内研究机构的检测成果。

本书可作为从事金属摩擦副的车、船、机械设备等行业的工程技术人员、现场操作人员的工具书,也可供高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属陶瓷生成剂的应用与机理/王德志编著. —北京:
国防工业出版社, 2014. 8
ISBN 978-7-118-09441-1

I. ①金... II. ①王... III. ①金属陶瓷涂层—研究 IV. ①TG174.453

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第155089号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 19¼ 字数 344 千字

2014年8月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 46.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

序

金属陶瓷生成剂是一项表面工程技术,1999年走进国门,如今已有许多从
业公司涌现出来,并一直在市场环境里生存着、发展着,金属陶瓷生成剂技术使
用领域如此地快速扩展,预示着它前景光明。

十余年来的丰富实践成果,确有不少成功经验,也发生过一些失败事件,后
者也是一笔价值不菲的社会财富,而且败例淘金能告诉我们的,往往是更真切、
更深层次,原先不曾关注到的认知。本书的主要任务之一是总结已有应用实践
经验。这里将它推荐给读者,并不是因为它已经拥有成熟、高深的理论,而是着
眼于它能为工程部门决策层提供有正有反、有根有据的决策参考信息;能为现场
工程技术人员细审项目可行性时,提供数据说话的参考依据;能为直接操作人员
提供工艺操作知识,这些会让工程决策和应用过程所必须支付的试验成本和时间
成本有所减免,从而切实地为这项表面工程技术的普及应用铺路,当然,推荐
本书的真正原因更在于:实践已经证明这是一项带来节能、减排、延寿、安全的优
异表面工程技术,利国利民。

“透过现象看本质”是作者追求的主旨和基本探索方法。书中采取将诸多
成功实践经验的闪光点“串联起来”加以归纳的方法,试图一窥“规律”的神秘形
貌。虽然这也符合普遍性寓于特殊性之中的原理,也是有事实做依托的,但所依
据的事实毕竟还算不得十分充足。因此,这种变通的归纳方法,在逻辑上多少带
有一点“取巧”的味道。从认识水准衡量,应该说它还是不系统、不完整、不严谨
的,读者必须清醒地看待书中的结论,它们只是一些定性趋势,一些观点与见解,
不宜定量地、不分场合地推而广之。

对于金属陶瓷生成剂机理的探讨是本书的又一主要任务,作者是在现场实
践成果总结所形成的机理认知基础上,借鉴人造金刚石、陶瓷技术等两门近亲技
术的成熟机理研究论述;对采集到的最新理论研究著述进行取舍、归类、条理、思
索,形成了对金属陶瓷生成剂机理的系统探讨,铸成本书的真正精华与看点。尽
管这只是一家之言,而且一些结论还带有不确定性,将会随着时间的推移而被淘

汰、被湮灭,但总归也算是一次对金属陶瓷生成剂机理的有益探讨,其中有些提法或许还会继续流传下去。

“一个善于总结经验的民族是大有前途的民族”,一切认识都是从直接经验发源的,本书值得一看的价值或许就在这里。

伊叙

2013年9月

前 言

中国经济发展遵循科学发展观,走可持续发展道路,相应节能降耗、保护环境已被奉为国策。那么,节约能源,保护环境的出路究竟何在?全面推广最新表面工程技术——金属陶瓷生成剂技术,将是其中的浓重一笔,这项技术能让各种机械节能 3% ~ 25%;能让各种机械对环境的污染降低 1/4 ~ 1/2。

金属陶瓷生成剂是一项表面工程技术,自 1999 年进入中国以来,推广速度很快,已被数百台铁路内燃机车,上千台汽车或机械装备所采用,大规模的使用实践让人们深切体会到它的完美与神奇。尽管如此,它的全面推广仍需经历一个让更广泛人士有所认知的过程,为此,本书以总结金属陶瓷生成剂应用实践为主旨,以铁路机车、汽车等的丰富现场实践为主线切入,遵循“共性寓于个性之中”原理,精心遴选事实确切,有表征性的“个案”,将其视作有内在联系的整体,进行数学处理,进行解读分析,通过归纳推理,提炼出一些“初步看法”;然后再以新的“个案”事实为依据,对“初步看法”进行检验,排除其中的不合理成分后录入书中,作为印证。在此基础上,遵循“长期的大规模实践事实是其内在本质的展现,也是面对各家机理学说有所取舍的权威依据”原则,进而完成了机理文字的归纳。

无疑,受到实践规模的局限,这蹒跚的一步,充满稚气,个中说法难免失误叠出,幸运的是处于初期阶段的技术环境比较宽容,才有了见诸公众的机会,但愿这些已有的工程应用实践及其机理探索,特别是已经付出代价的失效事件等,能在金属陶瓷生成剂技术的工程应用决策过程,以及知识普及、学术交流方面发挥些许作用。

在我国,这项表面工程技术已经有了不少新的名,同时,多年来表述这项技术的金属陶瓷、自修复、节能、抗磨、减摩等提法已经广泛流传,并在互联网上呈现“约定俗成”之势。为叙述方便,这里选择“金属陶瓷生成剂”作为兼容“同源技术”多种称谓的代用名称。

这份站在前人肩膀之上继续攀登之作,收录的现场试验资料主要源于北京同呈之科技发展有限公司、黑龙江圣龙公司、北京金科立杰科技发展有限公司(代理北京埃勒维斯科技发展有限公司)、北方华福力公司等资料,而这些资

料主要出自北京、上海、乌鲁木齐、南昌、济南、郑州、柳州等铁路局;来自上海大众出租汽车公司等交通与机械装备的应用部门等,还有一些源自俄罗斯和乌克兰的产品生产厂家的资料;编入内容中的理论探索性质资料,主要来自有关国家部委,有关院校,全国摩擦学与表面工程学术研讨会论文等;来自《摩擦学学报》、《中国表面工程》杂志、相关书籍,相关网站等。鉴于上述资料中,有的并没有在参考文献中一一列出,在此特向这些资料的作者致谢。

在本书的编写过程中,得到了王耕野、徐文宝、张世元、赵元春、张启云、张五福、张中、赵克华、孙启龙、董景瑜、郭树祥、曹松荫、裴德林、卢刚、马忠超、王海雁等同志的帮助;同时,得到北京金科立杰科技发展有限公司、北京大雁智诚商贸有限责任公司、黑龙江圣龙金属磨损自修复材料有限公司的大力支持;还有一些不让提及姓名,却给了不少切实帮助的同仁,在此一并表示深深的谢意。

王德志

2013年6月

目 录

第1章 概论	1
1.1 金属陶瓷生成剂技术简介	4
1.2 俄罗斯、乌克兰应用情况	7
1.3 国内采用情况与研究	14
1.4 其他国家采用情况	16
第2章 铁路机车行业对金属陶瓷层的认知	18
2.1 金属陶瓷生成剂对柴油机热力状态的影响	18
2.2 金属陶瓷层的生成规律的现场认知	23
2.3 金属陶瓷层生成厚度规律的探测	42
2.4 金属陶瓷生成剂成分的认知	46
第3章 铁路机车行业现场实践	50
3.1 铁路机车现场试验简况	51
3.2 机车燃油节油效果的现场实践	52
3.3 机车检修周期延长的现场实践	66
3.4 机油节约与低代化趋势	86
3.5 机车的金属陶瓷生成剂加注处理工艺	91
3.6 铁路机车采用金属陶瓷生成剂的经济效益	102
第4章 汽车行业台架试验	104
4.1 加注效果试验任务的确定	104
4.2 已发生磨损汽油发动机的对比试验	106
4.3 新出厂发动机上使用可行性试验	109
4.4 放机油运行的台架试验	112

4.5 柴油机关键部件磨损的台架对比试验·····	116
第5章 汽车行业现场试验与修理制度改革·····	119
5.1 汽车节能效果的现场实践·····	119
5.2 汽车减排效果的现场试验·····	124
5.3 汽车延长检修周期的现场实践·····	129
5.4 放油运行现场试验·····	141
5.5 汽车维修的全新理念与修理制度改革·····	143
5.6 汽车金属陶瓷生成剂加注处理工艺·····	146
5.7 金属陶瓷生成剂在汽车制造领域的应用·····	156
第6章 滑动轴承轴瓦寿命增长的应用实践·····	161
6.1 滑动轴承现场试验样品的检测与评析·····	161
6.2 曲轴轴瓦的现场实践·····	165
6.3 ND5 型机车曲轴颈热裂纹的修复实践·····	171
6.4 南京自来水公司水泵机组的加注处理实践·····	178
第7章 滚动轴承与通用机械设备的应用实践·····	181
7.1 6205-2RSIXI 轴承寿命试验的结论与分析·····	181
7.2 滚动轴承应用金属陶瓷生成剂的现场实践·····	193
7.3 通用机械设备的传动装置应用实践·····	206
7.4 通用机械设备的机组应用实践·····	214
第8章 金属陶瓷生成剂机理与前景·····	221
8.1 金属陶瓷生成剂机理探微·····	222
8.2 意外实践结果的机理与启示·····	255
8.3 金属陶瓷生成剂作用机理研究的近期进展·····	260
8.4 发展前景展望·····	278
附录 金属陶瓷生成剂特性的国内验证·····	284
一、金属陶瓷生成剂的成分·····	286
二、金属陶瓷生成剂的粒度·····	287

三、金属陶瓷层的实测厚度	288
四、金属陶瓷层的摩擦系数	289
五、表面显微硬度	290
六、表面粗糙度	291
七、金属陶瓷生成剂的防锈性能存在局限性	294
八、链接	295
参考文献.....	296

第 1 章 概 论

发动机等机械设备摩擦副的减少摩擦磨损、降低能源消耗、减少环境污染，是现代机械设计、制造和使用领域所面临的三大课题，而在世纪之交进入中国的“金属陶瓷生成剂”技术，为解决机械设备三大课题，提供了最具实效性的途径。

金属陶瓷生成剂技术起源于苏联军方的“定向全扩散技术”课题，而“定向全扩散技术”课题则是来自 20 世纪 60 年代，苏联勘察乌拉尔山脉地区矿产时的离奇钻探经历。如常的钻井作业正在进行着，已经到该换钻头的时间了，但钻机工作依然十分平稳，又工作了许久，还是没有出现令人关注的不平稳现象……于是提出钻头观看，发现钻头刀刃锋利如初，表面包覆着一层极薄但十分光滑、坚硬的膜，它是什么神秘物质？这件事立即引起了苏联军方科学家的注意，于 20 世纪 70 年代立项，主要目的是开发金属摩擦表面处理技术，提高军事装备战斗能力和在特殊情况下的生存能力，1992 年诞生了最初的技术原型，整整用了 20 年时间破译成功。

苏联解体后，1997 年该项军事技术解密，在此技术原型的基础上，俄罗斯多家公司与乌克兰 XADO 投资有限责任公司等将该技术发展成为一种适用于各行各业使用的新型“节能”、“环保”技术。其中，规模较大的 XADO 集团，围绕这一技术很快诞生了 40 多项各类专利，其中包括 12 项国际发明专利，同时生产出凝胶、润滑脂两大类产品，品种齐全、配套，已在十余个国家的工业、农业、能源、交通运输业等得到了广泛的应用。

这项技术 1999 年进入中国，短短几年时间就获得了广泛应用，不过由于商业用途不同，同源技术分支与从业企业又多，这项技术的中国名称也就很多，早在 2006 年就已经有了十几种名称了，见表 1-1。

表 1-1 2006 年同源技术的一些国内名称或提法

序号	名称或提法	出 处
1	定向全扩散技术(金属材料摩擦表面处理技术)	苏联军方
2	摩擦表面改性-修复剂(形成金属陶瓷保护层)	乌克兰 XADO 投资有限责任公司
3	金属磨损自修复材料(ART, 俄专利)	哈尔滨圣龙新材料科技有限公司

(续)

序号	名称或提法	出 处
4	金属磨损自修复材料(ART)	黑龙江圣龙金属磨损自修复材料有限公司
5	金属摩擦表面改性—修复剂(XADO, 摩圣)	北京埃勒维斯科技发展有限公司
6	摩擦表面再生技术	国家经贸委节能信息传播中心
7	金属摩擦表面原位改性修复技术(PBC, 俄罗斯)	清华大学汽车工程系
9	摩擦表面改性剂	清华大学摩擦学国家重点实验室
10	金属摩擦表面改性—修复剂(XADO, 金科立杰)	北京金科立杰科技发展有限公司
11	金属减摩修复剂(XADO, 同呈之)	北京同呈之科技发展有限公司
12	金属摩擦改性、修复技术(摩泰 RVS, 俄代理)	北京东泽达科技有限公司
13	伊达牌金属磨损自修复高级润滑油	大连伊达新材料科技有限公司
14	金属磨损自修复材料(ART, 俄代理)	北京福达伊格尔技术服务有限公司
15	矿物微粉摩擦磨损修复技术	装甲兵工程学院 装备再制造技术国防科技重点实验室
16	金属减摩剂技术	铁道部运装机检[2004]229 号
17	金属减摩修复剂	铁道部运装机运[2005]356 号

这么多的名称各有各的理由原本无可非议, 不过作为同源技术, 其共性是不可抹杀的, 因此在理论界、学术界、应用现场还是应该有个统一名称才好。多年来金属陶瓷、自修复、节能、抗磨、减摩等技术描述语句, 已经在各界, 特别是在互联网上广为流传, 从尊重这个事实出发, 选择其中深具共识、又很独特的语句, 名为“金属陶瓷生成剂”, 并将其作为兼容“同源技术”的复杂现实和方便叙述的统一代用名称。

1. 金属陶瓷生成剂符合主征命名法原则

金属陶瓷层是其众多独特技术特性的根源。现场试验事实证明(以柴油机缸套为例), 能自行生成一种目视可见的镜面, 覆盖缸套工作面, 而且行驶 85 万 km(3 年 9 个月)中换油十余次而一直存在着, 显然, 金属陶瓷层是客观存在的物质, 是被宏观实践和微观试验事实所确认的。

金属陶瓷层的命名, 直接接触及摩擦副由“金属—金属”性质, 转变为“金属陶瓷—金属陶瓷”性质的本质变化, 是以生成物的主要特征命名的。鉴于这是一种摩擦副表层物质发生了本质性的变化, 因此, 它意味着一项全新的表面工程技术诞生了。

2. 金属陶瓷生成剂专指而独特

“改性材料”等名称, 不能排除还有其他新技术也具备一定的改性能力者沿

用，容易产生“歧义”和“不确定性”，而“金属陶瓷生成剂”名称却是专指而独特，同时还向人们传达如下技术信息。

1) 仅仅专指一种独特的“改性”技术

“改性”二字，范围很广，甚至可以包括改后性质变差者在内。此处，则明确是单指其中的“金属陶瓷”一类的“改性”技术。

2) 仅仅专指一种独特的“类金刚石”物质

“类金刚石”的种类也相当多，此处，明确了是单指其中一种成分与物理性质都比较接近“陶瓷”的“类金刚石”物质。这里的“陶瓷”二字是形容这种独特“类金刚石”物质的通俗用语，这与它的原材料成分是接近陶瓷材料的(含有 Si、O、Al、Mg 等的化合物)，但就它的生成物体积比例看，“类金刚石”物质仅仅是薄薄的一层，在空间上它包络在新生层的外面，并占有显著地位。这层类金刚石物质，在厚度上属于“分子尺度”，由于具有在外表面不断延伸的特点，因此，可以发展到宏观可察的尺度，因此，称为“分子被”(见 8.1 节)。

“类金刚石”物质表面非常光滑，同陶瓷的光滑、坚硬表面相近，故用“陶瓷”加以描述，但它比陶瓷更加致密光滑，而且强度、硬度都更高，相应不仅拥有摩擦系数低于机油的“超滑”性能，而且十分耐磨。鉴于以“陶瓷”来形容这项技术的说法，早已在国内外流行开来，因此，这里援引“约定成俗”的惯例，沿用“金属陶瓷”说法。不过就事物本质而言，更准确的称谓，毕竟不是“陶瓷”而应是“类金刚石层”。

3) 生成物具有“金属”特征

从生成物的质量比例看，突出特点是 Fe 元素高达 90%左右，正因为金属成分(铁磨粒,以及添加的金属颗粒等)拥有无可争议的主体地位，成为新生物质的基础性“建材”，所以生成物拥有金属的强度、刚度(挤压应力)、线胀系数、韧性等物理性能，也就不足为奇。

4) “生成”二字道出自修复能力的本源

清华大学摩擦学国家实验室的研究成果做出了肯定的结论：“金属陶瓷”在摩擦剧烈处自行生成，并以化学键连在基体组织上，因此，新生物质的增生效应，自然具备一定的自行修复功能。

5) “剂”字所描述的性质

“剂”字所描述的产品性质，与“材料”的含义近同，但用的字数少，也很确切。

3. 金属陶瓷生成剂点明了该项技术的工程定位

它以机械设备的润滑剂为载体，介入到摩擦副的摩擦表面，以达到改善其摩擦学性能和磨损修复之目的。

从工程科学的角度看,金属陶瓷层是“生成”的,不是附着的,它名正言顺地归属于表面工程技术。从本质上讲,它是利用现代技术改变材料表层、亚表面层的成分、结构和性能的处理技术。鉴于这项表面工程技术已是产品质量的有效处理工艺之一,因此,它的生成物身份就同热处理等工艺所生成的“层”地位一样,它与部件基体是一体的,特殊之处不过是在摩擦过程中诞生的新生层次而已。因此,直接称为“金属陶瓷层”,明确其归属于主体的地位为宜,相比之下,“保护层”的称呼,则表明新生层属于客体性质,它与部件机体是两体的,从而偏离了该项技术的生成物,已经与部件基体结合成一体的基本特征,因此不再沿用。

4. 一些场合允许奉行“双轨制”

从乌克兰 XADO 投资有限责任公司的十余个国家网站的使用信息展示情况看,“金属陶瓷”提法的使用已经相当普遍,尽管“金属陶瓷”已是共识,但要用金属陶瓷生成剂作为技术统称,很多人仍会感到不习惯,特别是在引用各家技术文献原文、实践事例资料等的时候,尤其显得不合时宜,为此,仿照“双轨制”原则加以处理:

在总体叙述中,统一使用金属陶瓷生成剂名称,但本着尊重客观,尊重源素材知识产权和劳动付出的本意,在引用各家技术文献原文、实践事例资料等场合,在相关的内容里允许保留“源名称”。

1.1 金属陶瓷生成剂技术简介

金属陶瓷生成剂是以极微细的羟基硅酸镁或羟基硅酸铝矿物为主料,包含关键的催化剂成分,能在剧烈摩擦面环境生成金属陶瓷层的表面工程技术。

金属陶瓷生成剂是以润滑油或润滑脂做为载体进入摩擦副的,其中的催化剂成分不仅能够提供空缺的 3d 电子轨道为杂化变异提供便利,同时它又加剧摩擦表面的局部摩擦,形成许多微观的瞬间高压、瞬间高温环境,两重作用共同催化体积缩小的摩擦化学反应顺利完成。

(1) 金属陶瓷生成剂通过摩擦化学反应,同基体金属形成一种以化学键连形式结合到金属表面层的晶格之上,建立了牢固的摩擦副表面性质改变的基础。

(2) 金属陶瓷生成剂中的主料组分,在催化剂成分的两重催化作用之下,在剧烈摩擦部位生成坚硬、光滑的类金刚石膜(已被形象地冠以“分子被”之名);与此同时,被瞬间摩擦高温软化了的各金属颗粒(包含催化剂颗粒,磨粒,以及微小热影响区内的基体部分),不断被新生“分子被”所覆盖,并在瞬间高温、瞬间高压作用下融合、位移、异位冷却结晶,共同形成金属陶瓷层。无疑,这

种生成效应同时完成了对摩擦副破擦部位的自动修复工作。

(3) 金属陶瓷层生成之后,使原来的“金属—金属”摩擦副,变成了优质的“金属陶瓷—金属陶瓷”摩擦副,这就是这项表面工程技术的实质。

很明显,使用金属陶瓷生成剂的目的,就是为了生成金属陶瓷层,既改变摩擦副表面性质,又兼具一定修复磨损表面的能力,从而造就品质优异的摩擦副,因此,它属于表面工程技术,而并不属于为了改善机油润滑性能的机油添加剂技术。

1. 金属陶瓷层带来的独特性能

这项表面工程技术进入国内,引起巨大波澜,不少研究机关对其性能进行了检测,检测发现,金属陶瓷层带给摩擦副的性能独特而出人意料,概括起来是“三超一自”。

(1) 超强结合。在微观瞬间高压、微观瞬间高温条件下,羟基硅酸盐向金属基体扩散,并形成化学键结合,同时,微观高压将已经软化的催化剂颗粒,磨粒,以及微小热影响区内的基体部分,挤压结合在一起重新结晶,从而将新生金属陶瓷层同金属基体变成一个整体,它们之间没有清楚的边界。

(2) 超滑。金属陶瓷层之间的实测干摩擦的摩擦系数低于0.01,且表面粗糙度仅为 $0.06\mu\text{m}$,具有“超滑”特性。它的摩擦损失功很低,以致发动机能够承受失油条件下,处于“半干摩擦”或者“干摩擦”工况时,仍能安全工作一段较长的时间。

(3) 超硬。表面显微硬度可达7.5 GPa以上,耐磨,磨损寿命延长1~3倍,通常能使机械设备摩擦副的使用期限增加1倍多。

(4) 自适应修复。由于金属陶瓷层只在工况十分恶劣,产生微观瞬间高压和微观瞬间高温的部位生成,从而使摩擦副的现存弱点得到有效克服,因此,它就像一支恪尽职守的救火队一样,摩擦副哪里“着火”,它就到哪里“灭火”,这种可贵的自动选择性,被专业人士称为“自适应修复”效应。由于这种生成物是在瞬间高压作用下融合、位移、异位冷却结晶,直到“火灭”为止,因此,可以使摩擦副质量自动趋向最佳匹配状态,而且这是在免拆条件下自行完成的,尤为难得。

顺便指出,一旦自修复过程进行到摩擦副表面的微凸体和凹坑趋于平整时,摩擦化学反应过程赖以发生的微观高压、微观高温点逐渐消失,摩擦化学反应过程随之自行停止,因此,摩擦副零部件尺寸,通常只会止步于最佳匹配状态,而不会出现过度增厚酿成灾害的现象。

2. 金属陶瓷层的主要理化性能指标

金属陶瓷层“三超一自”那么“神”,有事实支持吗?只要看看的理化性

能指标检测结果，就知道它具有“陶瓷”的坚硬水平；又有金属的弹性模量，使得 HV/E 比值比较低，与陶瓷涂料材料相近，见表 1-2。

表 1-2 金属陶瓷层的理化特性

技术指标	缸套内表面的金属陶瓷层	备 注
表面显微硬度HV， 20mN(最小)	12.72GPa	S45C碳钢的陶瓷涂层为13.32GPa
弹性模量E(最大)	210GPa	S45C碳钢的陶瓷涂层为240GPa
HV/E	0.0606	S45C碳钢的陶瓷涂层为0.0555
线膨胀系数	$(13.6\sim14.2)\times10^{-6}(\text{mm/mm})/^{\circ}\text{C}$	与钢相同
摩擦系数 ^①	0.005~0.007	超滑，比车轴油刮的摩擦系数还低
抗腐蚀性	在高湿度，海洋环境，酸、碱介质中自身不腐蚀	现场使用中未出现自身腐蚀现象
① 加注前后,润滑油润滑的摩擦系数约降低1/2		

3. 应用金属陶瓷生成剂的功效与使用范围

已有实践表明金属陶瓷生成剂的功效，归纳起来有五方面，而其具体成因又不尽相同，汇总列于表 1-3 中。

表 1-3 金属陶瓷生成剂的功效与说明(以发动机为例)

功效	功效提要	成因简述
动力	新发动机动力提升 2%	超滑因素节油 2.7%可以证明
	修复发动机动力提升，视其原始状态不同而异，高的可达 20%	发动机修复前后的节油率可以证明
节能	节约燃油 2.7%~25%(国内验证值，因发动机原始技术状态优劣而异，汽车续行能力相应提高 3%~7%)	主要来自发动机环套副气密状态修复并长期保持着，其次来自改性后的摩擦副表面超滑，摩擦损失功明显降低
环保	发动机减排，如汽车发动机尾气中的 CO、HC 降低 10%~70%；而 CO ₂ 的减少与节能率相当	多数发动机的气密状态可修复如初，并能长时间保持，燃烧充分
	免拆维修还大大减少了修理废弃物的污染	寿命延长 1~3 倍，解体检修污染减少 1/2
	振动与噪声下降	运行平稳(含热机各缸均衡效应因素)
修复	修复有效性视原始状态、合理的加注量而定。通常用到大修寿命的 50%以内可不解体修复	摩擦化学反应生成金属陶瓷层，自动修复，起死回生，告别了传统的解体修复
延寿	机械设备摩擦副在两次修理之间的使用期限通常增加 1 倍多	金属陶瓷层超滑、超硬，使用寿命延长

(续)

功效	功效提要	成因简述
安全	动力保持好, 续行时间延长, 海、空平安返航率高; 设备运转平稳, 磨损故障大幅消减, 运行可靠度高	以海上舰船为例: 在 10000h 内动力如初, 节油率为 3%~10%, 海上应变、续行能力提升
	意外失油, 可安全运行一定时间	超滑, 发动机、滚动轴承等摩擦系数很低,
	低温启动温度可比同牌号机油降低 30℃左右	如汽车在 200km 内可以平安返回
	生成物与机油、燃油不发生化学反应	化学性质稳定, 但物理特性必须在意

(1) 金属陶瓷生成剂的适用范围主要是“金属”、“摩擦表面”, 因此, 对非金属、非摩擦表面、金属基体组织等没有效用。

(2) 由于金属陶瓷生成剂是依靠润滑油或润滑脂为载体, 带进摩擦副的, 因此对润滑系统正常与否有所要求, 通常有滤清器者须先清洗或更换滤清器, 润滑油指标正常, 无漏泄时, 加注成分才能有效发挥作用。

(3) 金属陶瓷生成剂的修复能力是有限的, 现有产品通常是按部件磨损量为大修限度的 50%~80%生产的, 而摩擦副过度磨损时, 修复成本将大幅提高并不合算。

1.2 俄罗斯、乌克兰应用情况

俄罗斯、乌克兰作为继承苏联这项表面工程技术的发明国家, 金属陶瓷生成剂技术的应用领域已经很广, 应用实践非常丰富, 而且还做了许多应用科研工作, 成果丰富, 这里从当初对国内认识这项技术颇有启发的视角, 选择了少许至今仍有一定参考价值的技术试验报告。

1.2.1 国立莫斯科技术大学汽车和拖拉机发动机教研室 UMS412 发动机的修复试验

2000 年 8 月, 在俄罗斯国立莫斯科技术大学汽车和拖拉机发动机教研室对 UMS412 发动机进行了乌克兰 XADO 投资有限责任公司的修复试验。UMS412 是伍弗姆斯基发动机制造厂 1993 年生产的 UMS412 型发动机, 至 2000 年 8 月, 运用 7 年以上, 相对于额定功率的损失为 25%。

加注乌克兰 XADO 产品处理 62h 的修复作用, 在发生边界摩擦的部位更为明显。当活塞及活塞环之间的摩擦接近死点时, 更容易出现边界摩擦现象由于在发动机整个工作周期内, 边界摩擦所占的时间比例为 5%~20%, 所以下面得