

关于编辑出版《热喷涂技术丛刊》的说明

自一九八一年底召开“全国热喷涂（焊）技术推广交流会议”以来，在国家经委和国家科委的领导下，经全国各有关部门的共同努力，这项技术正以崭新的面貌活跃在国民经济的各个领域。

为了适应热喷涂（焊）技术不断发展的需要，及时交流技术、总结经验，全国热喷涂（焊）技术协作组决定从今年起，编辑出版《热喷涂技术丛刊》，陆续汇编有关理论资料、实践总结及有参考价值的译文。每年出版3—4期，供科研、教学和生产人员参阅。

今年出版一期，为美国 METCO 公司的“Handbook of Coating Recommendations”。

热情欢迎全国从事热喷涂技术的同行们给予大力支持，踊跃投稿，积极订阅。

全国热喷涂（焊）技术协作组

一九八二，八

译者说明

近年来，热喷涂（焊）技术在我国获得较快的发展。不少单位在研制喷涂设备及喷涂材料方面取得了成果；某些部门对喷涂工艺做了有益的研究。但与此同时，这样一个实际问题摆在了人们的面前：如何根据复杂的工况条件确定合理的喷涂方法与选择正确的喷涂材料，这一问题，对于很多刚刚拥有喷涂装置的使用者来说，更为突出。

为此，我们翻译了这本手册，以期对有关工程技术人员和实际操作者有所裨益。

本手册原文书名为：“Handbook of Coating Recommendations”，是美国 METCO 公司所公布的一系列热喷涂技术参考书之一。初版于1972年。书中根据涂层的功能特点，对涂层做了系统的分类；并将各种类型的喷涂材料，按其所能实施的喷涂工艺，设计成相应的涂层类别，并依据这些类别做了归属，其中包括涂层设计及性能特点、操作指南与工艺制度、应用分析与具体实例等，内容丰富、便于查阅。书中所引各种数据均出于实践的结果，并用有关理论做了分析。本手册是从事涂层设计及实际操作人员有价值的参考书。

为便于查阅，译者对译文划分了章节。

本书由胡云秀（第一、二章）、俞斐廷（前言和第三、四章）、贾永昌（第五、六、七章）及廖传美（第八、九章）翻译，方世京审订。

翻译与出版过程中，承蒙国家经委胡立生同志、全国热喷涂协作组田钟庸同志的大力支持，冶金部矿冶研究总院张文儒和田冀莎同志也为此做了不少工作，对原文资料提供单位，在此一并致谢！

限于译者水平，文中错误在所难免，敬请广大读者批评指正。

译者

1982.7 01

前 言

近几年来, 麦特柯 (METCO) 热喷涂技术获得了广泛的应用。为了适应其应用范围不断扩大的要求, 麦特柯大力发展了喷涂材料和设备。在这一过程中, 对于某一具体应用来选择最佳涂层就发生了困难。任何人都不可能了解和掌握麦特柯全部涂层的所有特性。

迄今, 有关涂层的选择多半是根据试验、分析判断、直观检查和技术知识进行综合考虑。

本手册是一种新的和严密的涂层选择工程设计系统, 它有助于增长这方面的技术知识, 并减少因直观检查而造成的错误。

本手册试图体现近代的工艺技术, 它是建立在现有的技术知识之上而确定涂层类别及其性能的。

众所周知, 正是由于缺少必要的技术资料的指导, 使一些有关实用价值的麦特柯涂层不能及时得到应用。

本手册将定期予以审查, 按照实验室与现场实际经验进行修正或补充。

迫切要求所有读者及时报导已有的或可能获得的任何技术资料, 它将会使本手册得到进一步的充实。

作者对工程处执行者 H. S. Ingham 的帮助表示感谢。他早期就认定涂层选择的必要性, 并因此而导致本手册的出版。业务熟练的专业打字机管理员 D. H. Sitzer, 负责了全书的打印, 高级研究工程师 G. J. Durmann 协助解决了大气、海洋和化学腐蚀等问题。

Frank N. Longo

目 录

前 言

第一章 涂层分类目录	1
§ 1. 引 言.....	3
§ 2. 说 明.....	5
§ 3. 定 义.....	6
第二章 耐磨损	9
§ 1. 粘着磨损.....	9
软支承表面用涂层.....	9
§ 2. 粘着磨损.....	10
硬支承表面用涂层.....	10
§ 3. 磨粒磨损.....	14
耐磨粒磨损 (低温)	14
§ 4. 磨粒磨损.....	20
耐磨粒磨损 (高温)	20
§ 5. 磨粒磨损.....	23
耐硬面涂层 (低温)	23
§ 6. 磨粒磨损.....	32
耐硬面涂层 (低温)	32
耐纤维和丝的涂层.....	32
§ 7. 磨粒磨损.....	33
耐硬面涂层 (高温)	33
§ 8. 表面疲劳磨损.....	37
耐微振磨损涂层 (可预计的运动)	37
§ 9. 表面疲劳磨损.....	41
耐微振磨损涂层 (低温、不可预计的运动)	41
§ 10. 表面疲劳磨损.....	45
耐微振磨损涂层 (高温、不可预计的运动)	45
§ 11. 表面疲劳磨损.....	48
耐气蚀涂层.....	48
§ 12. 耐冲蚀.....	53
耐颗粒冲蚀涂层 (低温)	53
§ 13. 耐冲蚀.....	58
耐颗粒冲蚀涂层 (高温)	58

第三章 耐热和抗氧化	61
§ 1. 定 义	61
§ 2. 高温过程	62
§ 2.1 抗氧化气氛涂层	62
§ 2.2 耐腐蚀性气体涂层	64
§ 2.3 耐高于 843℃ 温度冲蚀的涂层	65
§ 2.4 热障涂层	66
§ 3. 熔融金属处理	68
§ 3.1 耐熔融锌涂层	68
§ 3.2 耐熔融铝涂层	69
§ 3.3 耐熔融铁和钢的涂层	70
§ 3.4 耐熔融铜涂层	71
第四章 抗大气和耐浸渍腐蚀	73
§ 1. 解 说	73
§ 2. 大气腐蚀	74
§ 2.1 抗工业大气涂层	74
§ 2.2 抗盐类气氛涂层	75
§ 2.3 抗田野气氛涂层	76
§ 3. 浸渍腐蚀	77
§ 3.1 耐饮用淡水涂层	77
§ 3.2 耐非饮用淡水涂层	78
§ 3.3 耐热淡水涂层	78
§ 3.4 耐盐水涂层	79
§ 3.5 耐化学及食品加工腐蚀涂层	80
第五章 电导与电阻	81
§ 1. 定 义	81
§ 2. 电导涂层	82
§ 3. 电阻涂层	82
§ 4. 射频屏蔽涂层	83
第六章 恢复尺寸(修复与加厚)	85
§ 1. 定 义	85
§ 2. 可切削碳钢用涂层	86
§ 3. 可磨削碳钢用涂层	87
§ 4. 可切削的耐腐蚀钢用涂层	89
§ 5. 可磨削的耐腐蚀钢用涂层	90

§ 6. 镍和镍合金用涂层·····	91
§ 7. 钴和钴合金用涂层·····	93
§ 8. 铜和铜合金用涂层·····	94
§ 9. 铝、镁及其合金用涂层·····	95
§ 10. 钛和钛合金用涂层·····	96
第七章 涂层号索引 ·····	98
第八章 机械部件间隙控制 ·····	116
§ 1. 说 明·····	116
§ 2. 可磨涂层·····	117
§ 3. 磨料涂层·····	120
第九章 耐化学腐蚀 ·····	122
§ 1. 引 言·····	122
§ 2. 讨 论·····	122
§ 3. 耐腐蚀表格的说明·····	123
§ 4. 铁、镍、钴基粉末涂层·····	125
§ 5. 铁、镍和钴基线材涂层·····	132
§ 6. 自熔合金涂层·····	139
§ 7. 有色金属涂层·····	146
§ 8. 氧化物陶瓷涂层·····	153
§ 9. 碳化钨涂层·····	160
§ 10. 碳化铬、难熔金属和可塑物基涂层·····	167
附表: METCO 牌号、涂层号及其成分对照表 ·····	174

第一章 涂层分类目录

分 类 表

类 别	分类号
耐磨损	A
粘着磨损 A 1	
软支承涂层	A 1.1
硬支承涂层	A 1.2
磨粒磨损 A 2	
耐磨粒磨损涂层 (低温)	A 2.1
耐磨粒磨损涂层 (高温)	A 2.2
耐硬表面涂层 (低温)	A 2.3
耐纤维和丝线涂层	A 2.3.1
耐硬表面涂层 (高温)	A 2.4
表面疲劳磨损 A 3	
耐微振磨损涂层 (可预计的运动)	A 3.1
耐微振磨损涂层 (不可预计的运动——低温)	A 3.2
耐微振磨损涂层 (不可预计的运动——高温)	A 3.3
耐气蚀涂层	A 3.4
耐冲蚀 A 4	
耐颗粒冲蚀涂层 (低温)	A 4.1
耐颗粒冲蚀涂层 (高温)	A 4.2
耐热、抗氧化	B
高温过程 B 1	
抗氧化气分涂层	B 1.1
抗腐蚀性气体涂层	B 1.2
耐高于843℃温度的冲蚀涂层	B 1.3
热障涂层	B 1.4
熔融金属过程 B 2	
耐熔融锌涂层	B 2.1
耐熔融铝涂层	B 2.2
耐熔融铁和钢涂层	B 2.3
耐熔融铜涂层	B 2.4
抗大气和侵渍腐蚀	C
大气腐蚀 C 1	
抗工业大气涂层	C 1.1
抗盐类气氛涂层	C 1.2
抗田野气氛涂层	C 1.3

浸渍腐蚀	C 2	
耐饮用淡水涂层		C 2.1
耐非饮用淡水涂层		C 2.2
耐热淡水涂层		C 2.3
耐盐水涂层		C 2.4
耐化学和食品加工腐蚀涂层		C 2.5
电导或电阻		D
电 导 D 1		
电导涂层		D 1.1
电 阻 D 2		
电阻涂层		D 2.1
屏 蔽 D 3		
射频屏蔽涂层		D 3.1
恢复尺寸 (修复和加厚)		E
铁 基 E 1		
可切削碳钢用涂层		E 1.1
可磨削碳钢用涂层		E 2.2
可切削耐蚀钢用涂层		E 1.3
可磨削耐蚀钢用涂层		E 1.4
有色金属 E 2		
镍和镍合金用涂层		E 2.1
钴和钴合金用涂层		E 2.2
铜和铜合金用涂层		E 2.3
铝和镁以及它们的合金用涂层		E 2.4
钛和钛合金用涂层		E 2.5
机械部件间隙控制		F
可磨涂层		F 1
磨料涂层		F 2
耐化学腐蚀		G
铁基、镍基和钴基涂层		G 1
粉末涂层		G 1.1
线材涂层		G 1.2
自熔合金涂层		G 2
有色金属涂层		G 3
氧化物陶瓷涂层		G 4
碳化钨涂层		G 5
碳化铬和其他涂层		G 6

• 涂层号索引和分类相互参照。

§ 1. 引言

涂层的选择是通过确定涂层的功能实现的。确定涂层的准确功能常常是一个复杂的过程。然而,要选择合适的涂层就必须精确地做到这一点。根据本手册比较容易地进行涂层的应用分析和确定涂层的功能。一经这样做,就能轻易地查出涂层的分类,其中任何一种都将适用。最后,运用经验与判断从分类中选定所需的涂层。

分类以两个主要的定则为基础——“功能”和“涂层”。

功能定则

“功能”的定则说明,对于几乎所有任何应用来说,所需要的涂层功能可以确定在狭窄的范围内。这可通过以下步骤达到:首先给定需要的功能进行大体的分类,例如“耐磨性”;再进一步给予它一个比较精细的类别,例如“耐磨粒磨损”,而最后赋予它一个更为清晰的界限,例如“耐高温磨粒磨损的作用”。偶然,由于应用的特殊要求,可能需要更为严密的界限。例如将“耐纤维和丝线”的涂层功能,当作“耐低温硬表面”的细分类。对于每个功能的最终界限,都有或将有一个规格说明书,叙述了合理涂层所必须的特性,注明了性能因数,列出了一个或更多的需要该涂层功能的典型应用实例,并推荐了合适的涂层。

应用功能定则有助于分析涂层应用,而且把它规定在所叙述的范围内。因而,不论任何工业,这些涂层选择都是可以应用的。

对于大多数的用途,涂层功能可以包罗于下列粗范围之中:

耐 磨

耐热、耐氧化

耐大气和海水腐蚀

电导或电阻

恢复尺寸(修复和加厚)

可磨性(用于密封和间隙涂层)

耐化学腐蚀

其 他

表 1 耐磨性能的大分类和细分类

粘着磨损

软支承涂层

硬支承涂层

磨粒磨损

耐磨粒磨损涂层(低温)

耐磨粒磨损涂层(高温)

耐硬表面涂层(低温)

耐纤维和丝线涂层

耐硬表面涂层(高温)

表面疲劳磨损

耐微振磨损涂层（可预计的运动）

耐微振磨损涂层（低温、不可预计运动）

耐气蚀涂层

冲蚀

耐颗粒冲蚀涂层（低温）

耐颗粒冲蚀涂层（高温）

涂层定则

一种涂层不能单独为所采用的麦特柯产品来确定。涂层的特性可通过改变喷涂参数和其他工艺变数而剧烈地变化。在写此涂层使用说明书和制造涂层的细则时已经考虑到这些因素。

在本手册中，每种涂层是按照麦特柯产品，而且亦根据表面制备、喷涂设备、喷涂参数、涂层厚度、喷涂后处理诸如密封、精整参数，以及任何其他参数（无论任何时候那些组成火焰喷涂工艺的要素都会影响涂层的功能或性能）来进行描述。

本分类中的每一种涂层都予以编号，每种编了号的涂层是独特的，而且所具有的性能不与任何其他涂层相重复。

每种涂层编号是由以下三部分——字首、产品标记和顺序号所组成。

字首是一个鉴别所用热喷涂方法的字母，T表示火焰喷涂，P表示等离子焰，M表示金属喷涂（气-线），而A表示电弧火焰喷涂。其后紧接的是麦特柯产品的牌号。在粉末和一些线材的情况下，这将是同一数字。没有写编号的产品是可辨认的开头大写字母予以鉴别。产品牌号之后用一连字符和以10开始的顺序号连接，这些符号鉴别生产该涂层的程序。

一些涂层符号的例子表示如下：

P 450-10 是一系列 METCO 450 的等离子焰喷涂涂层中的第一个；P 450-11 是第二个。
M 5-10 是一系列 MeTcoloy*5 的金属喷涂（气-线）涂层中的第一个。

T 105-10 是应用火焰喷枪的一系列 METCO 105 涂层中的第一个。

ALS-11 是 Sprasteel LS 的一系列电弧喷涂涂层中的第二个。

涂层 P 450-10 与涂层 P 450-11 不一样，与涂层 T 450-10 也不相同。此定则企图包括所有被介绍的涂层。

每一编号的涂层被规定于表 2 中所示的类别之一。这些类别是以相似的化学性、共同的用途或工业传统为基础的。建立起这些类别对以下情况是有帮助的，例如，当麦特柯所有者或其可能的主顾，由于自身的原因，需要考虑的只是碳化钨涂层、或只是氧化物陶瓷涂层、或只是其他限定的涂层组的时候。

表 2

涂 层 类 别

典型的麦特柯产品

- | | |
|-------------|-----------------------------|
| 1. 铁、镍和钴基涂层 | (*1,*80,*41 C,*451,*45 C,等) |
| 2. 自熔合金涂层 | (*12 C,*16 C,*34,等) |
| 3. 有色金属涂层 | (*54,*55,等) |
| 4. 氧化物陶瓷涂层 | (*101,*106,*201,**130,等) |
| 5. 碳化钨涂层 | (*72 F,*439,*71 NS,等) |

- | | |
|----------------|-----------------------|
| 6. 碳化铬和其他碳化物涂层 | (#430, #81 NS, 等) |
| 7. 耐熔金属涂层 | (#61, #62, #63, 等) |
| 8. 非氧化物陶瓷涂层 | (XP 1157, XP 1137, 等) |
| 9. 塑料基的涂层 | (#601) |
| 10. 金属陶瓷涂层 | (#410, #411, 等) |

这些类别并不是固定不变的, 如果现场经验或者产品作业线的变化有需要, 将进行修正和补充。

§ 2. 说 明

最好的方法是通过一个实例来解释如何应用这本新手册, 从而确认一个涂层的功能, 以及选出提供该功能的涂层。

拉丝生产者需要一个涂层介绍。因为他的拉丝绞盘已磨损到绞盘对丝保持不了适当的张力而停产的程度。

显然该涂层的功能是处于“耐磨”的粗范围内。应用分析指出, 磨损是由丝在绞盘工作表面上的滑动而引起的, 根据事实确定该涂层的功能应属于“~~磨粒~~磨损”分类。

因为丝具有相当的硬度, 同时从拉丝绕出来时温度至多处于 538℃, 于是该涂层功能符合细分类“耐硬表面涂层”(低温)。此细分类的索引(见目录)引出 A 2.3 类别, 其中列出一些碳化钨、氧化物陶瓷, 以及铁、镍、钴基涂层, 所有这些都被推荐为能够提供此类耐磨的涂层。最后根据经验、判断以及经济因素来选择涂层。一旦确定了所采用的涂层, 那么就可从涂层编号索引中来查找涂层编号和生产涂层的说明。

注意: 常参照涂层编号索引来保证你采用正确的材料和喷涂说明。

这是一个颇为简单的例子, 因为只涉及一种磨损机构。有许多应用其所需要的涂层功能多于一种。每当出现这种情况, 就必须在所介绍每种功能诸涂层表中查找各表中所共有的涂层。如果无共有, 那末可与 Westbury 涂层工程部门协商, 根据最好的判断来妥善地作出综合考虑(倘若需要的话)。

选择涂层指南

对于每种涂层功能的细分类, 所介绍的涂层目录表通常包括一种或更多种不同的类别, 例如自熔合金涂层、碳化钨涂层、氧化物陶瓷涂层等。一旦确定了合适的细分类, 就应该考虑另外一些应用因素, 例如化学介质, 工作温度, 润滑的充分程度, 磨粒的类型和尺寸等。所有这些要素, 如涂层成本一样, 与涂层的最后选择有关。

详细说明“耐磨粒磨损涂层(低温)”和“耐硬表面涂层(低温)”的标准图表已经绘制。此图表示出所介绍的涂层在每一类别范围内以及超越这些类别的相对耐磨性能。此外, 包括一组注释和议题。试图使这些作为分析用途的工具, 以有助于确保需要考虑的重要项目。在没有标准图表的其他一些涂层功能的规格中, 也包括有一组合适的注释和议题。

必须认识到, 没有什么可取代经验和判断。不可能有一个简易的机械方法或数学方法进行最终的合理涂层的确定。

还有许多未知数, 只能通过人们在现场谨慎地分析和检验加以认定和解决。

§ 3. 定 义

目 录

类 别	分类号
耐磨损	A
粘着磨损 A 1	
软支承涂层	A 1.1
硬支承涂层	A 1.2
磨粒磨损 A 2	
耐磨粒磨损涂层 (低温)	A 2.1
耐磨粒磨损涂层 (高温)	A 2.2
耐硬表面涂层 (低温)	A 2.3
耐纤维和丝线涂层	A 2.3.1
耐硬表面涂层 (高温)	A 2.4
表面疲劳磨损 A 3	
耐微振磨损涂层 (可预计的运动)	A 3.1
耐微振磨损涂层 (不可预计的运动-低温)	A 3.2
耐微振磨损涂层 (不可预计的运动-高温)	A 3.3
冲 蚀 A 4	
耐颗粒冲蚀涂层 (低温)	A 4.1
耐颗粒冲蚀涂层 (高温)	A 4.2
粘着磨损 A 1	

当两个表面在预计的运动中彼此相对滑动时就发生这种磨损, 结果将从一个表面拉出的碎屑粘附到另一表面上。磨损是由两个物料紧密接触时产生的强大粘着力所引起的。通常发生在润滑不充分的场合。它导致金属发生迁移, 通常被称为“划痕。”

软支承涂层

这些是软支承材料涂层, 软支承材料允许磨损的颗粒嵌入, 而且也容许变形以调整轴承表面。需要充分地润滑, 具有此种性能的一些支承成本应该是低的, 因为它们的磨损优先于其他配合表面。

硬支承涂层

这些是硬而具有高耐磨性硬支承材料的涂层。这两种特性都耐粘着磨损。使用于不嵌入性和自动调整并不重要以及润滑有极限之处。

磨粒磨损 A 2

当两个磨擦表面之间出现硬的外来颗粒 (诸如金属碎屑、金属氧化物和从周围环境带人的尘埃) 时, 就发生这种磨损。这些颗粒使两个表面的材料磨掉。

耐磨粒磨损的涂层 (低温)

这些是对外来磨粒作用有抵制的涂层；当磨粒进入两个磨擦表面之间时起划破和挖沟的作用。应用限于 538℃ 以下的温度。

耐磨粒磨损的涂层（高温）

这些是对外来磨粒作用有抵制的涂层；当磨粒进入两个磨擦表面之间时，起划破与挖沟的作用。涂层适宜于 538℃ 以上和 843℃ 以下的温度。

耐硬表面涂层（低温）

这些涂层适用于下列情况的磨损；即当一粗硬的表面，或者一含有硬质点的软表面在比较软的表面上滑动时所发生的磨损。硬的突出部分在软性表面上开槽并挖出的物料，然后挖出的物料就象磨料一样起作用。使用温度限于 538℃ 以下。

耐纤维和丝线的涂层

这些涂层可抵制纤维和丝线以高速从金属表面掠过时所发生的磨损。尽管纤维和丝线被认为软接触，但这些材料在高速运行时具有较大的磨损作用。使用温度限于 538℃ 以下。

耐硬表面涂层（高温）

这些涂层可抵制某一粗糙硬表面，或者含有硬质点的软表面在比较软表面上滑动时所发生的磨损。硬的凸出部分在软性表面上开槽挖出物料，然后挖出物料就象磨粒一样起作用。涂层必须在 538℃ 以上和 843℃ 以下的温度范围内使用。

表面疲劳磨损 A3

反复地加载和卸载使材料表面上产生周期的应力，此应力随着时间的增加导致表面裂纹，或在表面之下形成裂纹。最终使表面破裂，并由于大断片的损失而留下凹痕。它只能发生在不出磨粒磨损和粘着磨损的系统中。表面积必须反复地处于受力状态，在没有恒定的颗粒移动条件下，直到疲劳损坏。

耐微振磨损涂层（可预计的运动）

这些涂层能抵制在一轨道上反复滑动、滚动或冲击所引起的磨损。反复地加载和卸载产生周期应力，此应力诱发表面裂纹或表面之下形成裂纹。最后这些裂纹导致表面破裂和大断片的损失。这种磨损形成的先决条件是没有粘着磨损或磨粒磨损存在。

耐微振磨损涂层（低温、不可预计的运动）

这些涂层能抵制接触表面经受小振幅的振动位移时所引起的磨损。此种磨损难于预防，因为无可预计的运动进入系统。振动通常引起微振磨损。这些涂层的使用限于 538℃ 以下的温度。

耐微振磨损涂层（高温、不可预计的运动）

这些涂层能抵制接触表面经受小振幅的振动位移时所引起的磨损。此种磨损难于预防，因为无可预计的运动进入系统。振动通常引起微振磨损，涂层必须在高于 538℃ 和低于 843℃ 的温度使用。

耐气蚀涂层

这些涂层耐液体流中气蚀诱发的机械振动所引起的磨损。耐表面疲劳的材料均耐气蚀。最有效的涂层性能是韧性、高耐磨性和耐腐蚀性。

耐应力腐蚀涂层

这些是耐下列情况下损坏的涂层：即当部件受腐蚀气氛的影响而在几乎没有外加负载的情况下所发生的损坏。应力能级通常比在非腐蚀气氛中引起损坏所需的能级小得多。不过，

微裂纹扩大和发展最后引起脆坏。固有的内应力可能足以产生这个问题。

冲 蚀 A 4

这是由通常夹带颗粒的气体或液体快速冲击表面所引起的。当冲击角小时，所产生的磨损机构非常相似于磨粒磨损。在此冲击角垂直于表面时，材料受塑性流动而位移，或者由于脆坏而磨损。

耐颗粒冲蚀涂层（低温）

这些涂层能经受尖而硬的颗粒冲击表面所引起的磨损。这些颗粒以快速运动且能被气体或者液体所携带。当颗粒冲击角小于 45° 时，颗粒沿表面运动而产生磨粒磨损，因而需要硬性涂层。当颗粒冲击角大于 45° 时，韧性是更为重要的涂层性能。这些涂层的使用限于 538°C 以下的温度。

耐颗粒冲蚀涂层（高温）

这些涂层能经受尖而硬的颗粒冲击在表面上所引起的磨损。这些颗粒以快速运动而且能被气体或液体所携带。当颗粒冲击小于 45° 时，颗粒沿表面运动产生磨粒磨损，因而需要硬性涂层。当颗粒冲击角大于 45° 时，韧性是更为重要的涂层性能。涂层必须在超过 538°C 和低于 843°C 的温度使用。超过 843°C 见详细说明 B1.3。

耐腐蚀性冲蚀的涂层（高温）

这些涂层能经受一定压力下热气体的冲蚀作用而引起的磨损。因为这里涉及的磨粒磨损较小，所以涂层首先一定要耐蚀，和稍为耐冲蚀。

第二章 耐 磨 损

§ 1. 粘着磨损

软支承表面用涂层

这些是容许磨粒嵌入，也容许变形以调整轴承表面。需要充分地润滑。具有此种性能的一些支承成本应该是低的，因为它们的磨损优先于其配合表面。

一般特征和性能因数

1. 必须提供良好的润滑，不然磨损率将会增大。
2. 因为润滑剂夹带许多磨粒，所以支承的涂层必须软，以捕集这些粒子。
3. 软支撑涂层一般具有很差的耐磨粒磨损。
4. 热喷涂涂层的固有性能增加它作为支承涂层的适应性。微孔的作用犹如润滑剂的储存器，同时由于降低了粒子的熔合，而具有较小的粘着磨损倾向。
5. 表面粗糙度对支承性能起一定作用。粗糙表面一般有较高的磨损率，但精细表面不会形成贮藏磨粒的凹槽。

以下是软支承表面用涂层的一些应用。

1. 巴氏合金轴承。
2. 水压机轴套。
3. 止推轴承瓦。
4. 活塞导承。
5. 压缩机十字头滑块。

推荐作为软支承表面使用的涂层列于附表 3。

表 3 所列有色金属涂层，最能够满足这些需要。注意这些涂层是按照硬度递减的顺序列出。这样做有助于以硬度为基础进行选择。支承应用是复杂的，因此，要避免按照特殊的记号为顺序列表，因为这样可能使人误解。

涂层类别选择的指南

因为只介绍有色金属涂层，所以无须详细描述。

表 3 软支承用的有色金属涂层(按硬度递减顺序)

涂 层	硬 度	熔 点 ℃	表面光洁度 AA* 喷涂后表面 AS 切削后 M 研 磨 后 L	涂 层 说 明	注 解
P51F-11	Rb85	1037	AS:500—600 M:30	纯的铝-青铜比 MAA-10 为好。氩气等离子 2M 或 3M 喷枪。	优质铝青铜。在这表列出的只是等离子涂层。

续表 3

涂 层	硬 度	熔 点 ℃	表面光洁度 AA* 喷涂后表面 AS 切削后 M 研 磨 到 L	涂 层 说 明	注 释
MAA-10	Rb82	879~1,037	M = 好	METCO (Sprabronze) 铝青铜合金, 90% Cu, 9% Al, 1% Fe, 任何 METCO 气-线喷枪, 任何可燃气体。	硬性青铜, 容易加工。使用于需要有一些耐磨, 高负荷承载能力的地方。
T 51-10	Rb50	1037	M = 好	铝-青铜, 9.5% Al, 1% Fe, 相当于 MAA10, 使用 2 P 或 5 P 枪, 氧-乙炔。	使用在要求相当于 MAA-10 的热喷涂方面。
MTM-10	Rb50	879~1037		METCO 喷涂青铜 TM. (Tobin) 青铜。58.2% Cu, 0.8% Sn, 0.75% Fe, 0.25% Mn, 其余为 Zn。使用任何 METCO 气-线喷枪, 任何可燃气体。	成本比较低的青铜: 为了降低成本, 稍为减小一点硬度。
MP-10	Rb29	1049	AS-M = 尚可	METCO 喷涂青铜 P. 磷青铜涂层, 95% Cu, 5% Sn。使用任何 METCO 气-线喷枪, 任何可燃气体。	低硬度青铜, 成本一样, 胜过 MAA-10。
MA-10	Rh58	354		METCO 喷涂巴氏合金 A. (Sprababrit A) 特别高纯的锡基(无铅)的巴氏合金。3.5% Cu, 7.5% Sb, 其余为锡。任何 METCO 气-线喷枪。任何可燃气体。	极佳的所有用途的巴氏合金涂层。适应磨粒磨损, 负荷承载能力低。
MP-10	Rh10	232		METCO 锡, 纯净的锡丝。任何 METCO 气-线喷枪, 任何可燃气体。	最软的涂层, 使用于需要柔韧涂层工件。

*AA: 算术平均值(以微吋计), 后文中, 注有AA与否, 皆同。

§ 2. 粘 着 磨 损

硬支承表面用涂层

这些是硬的和具有高磨损性能的支承材料的涂层。这两种特性都耐粘着磨损。硬支承材料用于可嵌入性和自动调整的不重要的以及润滑有限界的部位。

一般特征和性能因数

1. 润滑应当良好, 但不如对软支承那么重要, 因为高耐磨性可以经受住瞬时无润滑的操作。

2. 需要硬支承表面的应用通常具有高载荷和低速度。

3. 表面一般应该有相等的硬度。
4. 虽然两个相似的涂层可以用来彼此相对滑动，但实践常使用两个不相似的组合物，例如某一涂层对铸锻金属。此种操作将减少擦伤和划伤。
5. 热喷涂涂层的固有性能提高了涂层作为支承表面的使用价值。表面孔具有贮存润滑剂的作用，而复合涂层提供硬度以及与其他材料的配位性。
6. 一般磨损率随温度的升高而增加。
7. 表面光洁度在支承性能中起作用。粗糙表面一般具有比较高的磨损率，而精细表面不提供贮藏磨粒的凹陷区。

以下所述的是硬支承表面用涂层的应用实例：

1. 用于冲床的减震器曲轴。
2. 糖粉碎辊辊颈。
3. 防擦伤轴套。
4. 方向舵轴承。
5. 涡轮轴。
6. 主动齿轮轴颈。
7. 活塞环（内部燃烧）。
8. 燃料泵转子。

推荐用作硬支承表面的涂层列于表 4

表 4 所列铁、镍和钴基的涂层，被认为最能满足这些需要，应注意涂层是按硬度递减的顺序列表。以便于用硬度作为选择涂层的依据。涂层的注释详细说明每种涂层的主要属性。

表 5 所列氧化物陶瓷涂层，它们也能满足这些需要。此表是按硬度递减顺序而列的，因为其他任何表达方式缺乏正当的理由。

表 6 所列碳化钨涂层也被认为最能够满足这些需要。只包括能经济地用 SiC 研磨的涂层。对于这些应用来说，金刚石研磨过于昂贵。

表 7 所列两种钼金属涂层被认为最适合做硬支承表面，Sprabond 具有应用于硬支承表面的成功的历史。现在 P 505—10 很快取代了 Sprabond。

涂层选择指南

由于支承应用的复杂性，一个总图表不适用此种功能。以下可作指南：

1. 可参考分类 A 2.1 中的总图表，将磨粒磨损的特性综合考虑。
2. 碳化物、陶瓷等，应该选择哪一个最好，你有什么看法？
3. 是否有表面加工、热喷涂或其他的经历？成功还是失败？METCO 或其他公司，哪一个能够提供识别要选择的类别。
4. 相配部件的硬度是多少？试选择一种硬度相同而材质不一的材料。
5. 在涉及冲击负载或振动负载的场合，不要选择氧化物陶瓷。