

机器零件修理新方法

〔苏〕 H. H. 杜若什金 等著

中国农业机械出版社

机器零件修理新方法

〔苏〕 H.H. 杜若什金 等著

陈斯洁 等译

中国农业机械出版社

Новые Методы Ремонта Деталей Машин

Н.Н. Дорожкин, Л.П. Кашипын,
А.П. Елистратов

Издательство «Ураджай», 1980

* * *

机器零件修理新方法

〔苏〕Н.Н.杜若什金 等著

陈斯洁 等译

•

中国农业机械出版社出版

北京市海淀区阜成路东钓鱼台乙七号

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

新华书店经售

•

787×1092 32开 3 10/16印张 79千字

1983年7月北京第一版·1983年7月北京第一次印刷

印数: 00,001—25,500 定价: 0.38元

统一书号: 15216·164

译 者 的 话

本书重点介绍用敷盖金属粉末层修复零件的新方法，如烧结法、扩散法、喷涂法、堆焊法、电接触法、在磁场作用下的电脉冲法等，比较详细的分析了这些方法的工艺特点和金属粉末敷盖层的性能特点。此外还介绍了用塑性变形法修复磨损齿轮的工艺过程。这些方法不仅可用于机器零件的修理，也可用于机器零件的制造。

本书除第一章部分内容系针对拖拉机零件，专业性较强外，其余章节的内容对各类机器零件的修理均有参考价值。本书可供机械修理厂和制造厂的工程技术人员以及机械类大专院校师生参考。

本书第一章由陈斯洁、第二章由许大钧、第三章由谭玉芳翻译，最后由陈斯洁同志校核。

译 者

1982年4月

目 录

第一章 利用金属粉末修复机器零件的工艺特点	1
第一节 磨损剧烈的动配合件	1
第二节 采用烧结金属粉末的方法修复零件的工艺特点及其 应用的可能性	7
第三节 敷盖金属粉末烧结层的方法	22
第四节 轴-套配合副效能的提 高	26
第五节 转向拉杆球铰零件的修复和强化	41
第二章 用敷盖金属层、塑性变形和扩散焊等方法 修复零件	47
第一节 热扩散烧结和金属搪衬	47
第二节 电接触法形成金属粉末涂层	53
第三节 扩散焊修复机器零件	59
第四节 塑性变形法修复磨损的齿轮	61
第五节 火焰喷涂	64
第六节 在磁场中用电脉冲法使铁磁性粉末形成抗磨涂层	67
第三章 用焊接和堆焊方法修复机器零件	70
第一节 磨粒磨损而无冲击负荷零件的修复	70
第二节 磨粒磨损并承受冲击负荷的零件的修复	79
第三节 金属与金属摩擦过程中遭受磨粒磨损的零件的修复	87
第四节 曲轴堆焊.....	89
第五节 铸铁壳体类零件的修复.....	96
第六节 薄板结构件的修复	101
第七节 对提高机器零件耐久性的堆焊方法的工艺 可能性分析	104
第八节 机器零件修理和恢复新方法的发展前景及应用	107

第一章 利用金属粉末修复机器零件的工艺特点

第一节 磨损剧烈的动配合件

一、磨损原因

零件工作面的机械磨损是动配合受到破坏的主要原因。在农业机器上，这类磨损件占全部零件的80%。根据作用力和不同的外界因素的影响，零件表面的磨损在磨损程度、破坏的基本形式、材料的机械性能和机械物理性能的改变等方面均是不相同的。表面破坏的基本形式可分为五类：

1. 显微割纹或叫深切微观不平度；
2. 塑性变形（刻痕）；
3. 弹性变形；
4. 表膜粘附硬质颗粒的微观破坏；
5. 表面粘着，同时材料有较深的撕扯。

磨损的形式和磨损程度取决于摩擦过程的综合作用。滑动摩擦件磨损形式按其为主要特征可归纳为三类：1）机械的；2）分子-机械的；3）腐蚀-机械的。

已经查明，零件的耐久性也就是零件的使用寿命取决于配合副的主要磨损形式。可能同时有几种形式的磨损和主要磨损形式并存。根据对摩擦副多年的研究和观察，零件内表面迅速磨损的原因可综合如表1。

表 1

机器零件摩擦副内表面迅速磨损的原因	损坏(%)
磨损产物和磨粒使润滑油污染	42.98
装配过失(偏斜、间隙不当等)	13.43
缺乏润滑剂	12.66
超负荷	9.47
锈蚀	6.33
非安装因素	5.06

造成零件报废的原因很多，其中占比例最大的是润滑油受到磨损产物和磨粒的污染及供油中断。为了延长零件以及整个配合副的使用寿命，必须消除造成加速磨损的所有因素。可以从结构、工艺和使用上采取措施。装配误差一在允许范围内的误差和超负荷，这两种因素容易消除，而防止润滑剂被磨损产物和磨粒污染以及保证向摩擦零件不断供油则是困难的。

二、易损件

拖拉机、汽车和农业机器上有许多零件（如马铃薯收获机的链条）是和土壤直接接触的，防止磨粒侵入其摩擦部位实际上是不可能的。还有一些零件，根据使用条件它们须是敞开的，在这种情况下，磨料会毫无阻碍地进入摩擦部位。通常总是采取措施防止磨粒进入到摩擦副的表面，然而要完全排除磨粒的进入并不总是有效的，因此履带拖拉机行走系统的许多零件和耕耘机器的滑动轴承均遭受磨粒磨损。耕耘机器的铸铁套，当润滑剂中含有2.5%的磨粒时，它就会迅速磨损。在使用中，润滑剂中磨粒的实际含量可高达10~15%。因此，即使在负荷较轻的工作条件下（压力20~30公斤/厘米²即2000~3000千帕，滑动速度0.05~0.30米/秒），滑

动轴承的寿命也不会超过一个季度，而整台机器的寿命则仅有一年。

磨粒磨损也使活塞-缸筒组和配气机构的运动部件迅速失效。

轮式拖拉机行走系统有些易损摩擦件（转向节上下衬套、摇摆轴轴套、前桥主销的上下轴颈、摇摆轴工作面）在大的动载荷和含有磨粒（达20%）的润滑剂的作用下产生严重磨损（图1）。

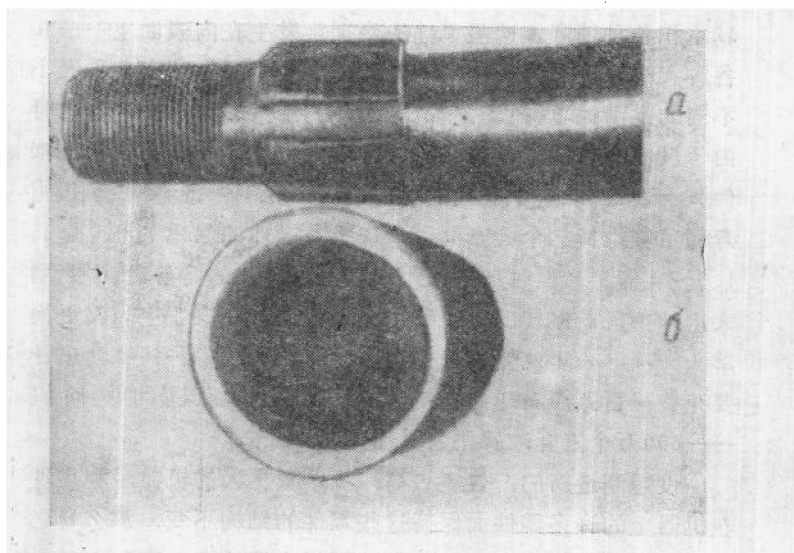


图1 白俄罗斯MT3-50拖拉机前桥轴颈

a)和套 b)磨损的一般形式

当这些零件的磨损超出允许极限时，拖拉机的操纵性能就恶化，轮胎磨损加剧，冲击负荷增大。反过来还会使那些

和行走系统相连接的其它零件的性能变坏。例如，由于上述原因引起转向拉杆和操纵杆的接头迅速磨损。

球头销和球头碗迅速损坏的原因是由于作用在拖拉机前桥轴上冲击载荷的增大和磨粒进入摩擦部位所造成的。

现代的拖拉机和汽车由2500多个零件组成。汽车修理实践指出，在这些零件中约有200种是可以恢复的，其中75%是有相对运动的配合副，其磨损特征是，一个磨损内表面，另一个是和它相配合的外表面磨损。

在农业机器上，广泛使用有动配合的零件如缸套、滑动轴承和各种轴套。这些零件的磨损常发生在内表面上——和各种大小轴外表面相接触的地方。农业机器上约有40种大小不同的滑动轴承(衬套、轴座等)，其中大多数易损件修理时由于没有有效的恢复内表面的方法而报废。一些圆柱形易损件列于表2。从这个表我们可以看出，为了保证零件的使用寿命足够维持一个大修间隔，这些易损件的耐用性应提高1.5~4倍。修理时如果采用换件法，零件的储备量就要增大，维持机器运转的整个费用也会增大。在农业上，仅更换犁头一项，一年就要费去一百五十万卢布，各种铸铁套总计要花费三百万卢布，而恢复拖拉机和联合收获机的发动机——600万个缸套，费用总计需210万卢布。

设想制造新的、效率更高、生产率更大的机器，利用现在机器上的许多零件而保持这些零件的结构不变，那么就必須提高它们的使用寿命，以便适用于今后的变型产品上。

由于机器运动速度和生产率的提高以及机器使用的强烈程度相应的增大，因而迫切要求在修理中运用新的有效的方法强化和恢复零件，以保证进一步改善机器的经济技术指标。

表 2 内表面易磨损的圆柱形零件

零件名称	机器部位和配合副名称	单机装用数	材料硬度 HRC	零件的实际寿命	零件应具有的工作能力
刀头衬套 (零件号: KYK0201022)	KC-2.6型青贮饲料联合收获机 割刀传动装置上的轴和套	2	45号铬钢 HRC45~50	0.25千公顷	1.0千公顷
连杆头衬套 (零件号: KYK0201019)	KC-2.6型青贮饲料联合收获机 割刀传动装置上专用螺栓和套	6	同上	同上	同上
转向节衬套 (零件号: 50-3001021)	MT3-50/80白俄羅斯拖拉机前桥 转向节主销和下套	2	Cy18-36 铸铁	4.5~5千小时	大于6千小时
转向节衬套 (零件号: 50-301052)	MT3-50/80白俄羅斯拖拉机前桥 转向节主销和上套	2	40号铬钢 HRC45~50	4.5~5千小时	大于6千小时
车架摇摆轴前后衬套 (零件号: 50-3001022)	MT3-50/80白俄羅斯拖拉机前桥 车架摇摆轴和衬套	2	同上	同上	同上
套筒 (零件号: 52-2308084)	MT3-50/80白俄羅斯拖拉机和前 轴臂相配合的套筒	2	Cy21-40 铸铁	同上	同上

续表

零件名称	机器部位和配合副名称	单机装用数	材料硬度 HRC.	零件的实际寿命	零件应具有的工作潜力
缸筒	联合收获机, 拖拉机和汽车发动机缸筒和活塞环相配合的表面	8	C421-40 (C418-36) 铸铁HRC40	拖拉机和联合收获机发动机2~2.5千小时; 吉尔-130汽车发动机70千小时	
前钢板弹簧卷耳衬套 (零件号: 130-2902028)	吉尔-130汽车前板簧销轴和衬套配合副	2	K435-10 铸铁	11万公里	13万公里
后钢板弹簧卷耳衬套	吉尔-130和MA3-500汽车后板簧销轴与衬套配合副	2	同上	10万公里	13万公里
转向节主销	吉尔-130汽车前轴	4	ТУЗИЛ 铜巴黄铜	8万公里	13万公里
减压凸轮轴套 (零件号: 130-3501126)		4	ЛС-74-3 黄铜	10万公里	13万公里
进排气门导管	汽车拖拉机发动机配气机构和汽门杆相配合的导管内表面	16	C418-36 铸铁	拖拉机发动机大于6千小时; 吉尔-130汽车发动机30~90千小时	拖拉机发动机大于6千小时; 吉尔-130汽车发动机不少于130千小时

第二节 采用烧结金属粉末的方法修复零

· 件的工艺特点及其应用的可能性

一、工艺的一般特性

采用粉末冶金的方法在零件上敷盖耐磨层包括金属粉末的成型和烧结两个工序。烧结过程是在金属粉末和零件强化的表面进行热处理时完成的。成型常常是在热处理的同时完成的，其结果是粉末在零件表面上形成一层烧结层。在烧结过程中，敷盖层的孔隙率降低，体积减小，敷盖层收缩也就使粉末致密化和固化。

成型的粉末层是由许多弥散的颗粒所组成的，其内层比它和基体接触的交界处具有更大的表面能。烧结时系统内团块减少，自由能转向稳定状态的趋势较大，因而颗粒与颗粒之间的结合强度大于粉末层和基体的结合强度。所以用金属粉末修复零件时，其烧结方法不同于粉末制品的一般烧结方法。为了保证烧结质量，热处理时粉末层必须采取机械压紧，或者采用物理的方法或化学活性剂来提高它和基体的结合强度。

机械压紧就是使粉末粒子和基体金属尽力靠拢到晶间原子产生作用的距离，使分界线消失并发生金属粘结。为了使接触不好的粒子和基体表面接触好，也必须压紧。烧结时，脱开的边缘接触点将促使沿零件圆周部分的粉末层产生纵向收缩和移动，由于不同断面上产生不均匀的收缩，弯曲倾向加大，从而增大了涂层和基体膨胀系数不同的影响。这样，烧结时若没有足够的压紧力，粉末层的变形超出金属结合限，就会使烧结体从所强化或所恢复的零件表面上完全脱落。

为了保证粘接良好，在随后的烧结过程中，粘接区必须集合能量以重新组合表面层，以及伴随而生的扩散、再结晶、蠕变、原子空位的形成和移动等等过程，均能自动完成。这些要求靠施加压力可以达到。压力的大小，根据烧结温度和烧结气氛的不同可以有很大的变化。

首先提出可用粉末金属制成致密金属制品者之一B.Д. 琼斯，在压力为1公斤/厘米²（100千帕）和烧结温度近于粉末的熔化温度的条件下，获得致密的粉末制品。制品达到很高的致密度是由于粉末系统在低于熔点温度下变形抗力小的缘故。

零件表面在涂上金属粉末之前，有一系列的技术准备措施。其中为大家所熟悉的有：为去除氧化皮和暴露新生面的专门加工（喷砂、喷丸、化学处理等）；在零件表面上构成一过渡层以提高基体和粉末层的结合强度；金属粉末中加入活化烧结过程（化学催化）的特殊添加剂或混料；以及为了敷盖活性金属粉末层所采取的其他措施，例如由化学方法得到的不均匀的粉末要经过特殊的机械加工，要在活性气氛中加工等等。在这种情况下烧结过程采用物理的活化方法是最有效的，例如，对粉末系统施加振荡，或采用高频感应快速加热，均能卓有成效地加快（2~3倍）和提高粉末层的致密化程度。高频感应加热使扩散过程加快，说明这种加热方法在输出能量方面的特性，即在交变磁场下材料发生磁致伸缩，使晶格振荡，以及电流（也就是热量）在零件上分配不均匀，所以加热速度的提高就是由于温度活化的作用。烧结时采取分段加热和使金属在接近晶格转变温度时发生改变等温度活化方法也是大家所熟悉的。

二、金属粉末层的烧结质量

烧结质量指的是粉末系统和基体金属在一定的外界条件下，经过扩散达到粘接良好状态的能力。现代的粉末冶金技术水平完全可以得到象焊接一样良好的烧结质量，而且这种技术适用范围广，可以使各种基体材料和粉末层均能有良好的粘接。但是由于一系列的辅助工序如涂施粉末之前的特殊机械加工，建立中间层，涂层之后的压紧，分段热处理等，采取高压、长时间烧结以及必须采用还原气氛或真空等等，使工艺变得复杂化。例如用ПЖ 1号铁粉、ПМ 1和ПМ 2号铜粉、羰基镍（ПНК-1和ПНК-2号）、МНТ-2合金（90%的TiC，8%的Ni和2%Mo）及一些其他材料，和低碳钢基体相烧结得到结合强度为0.02~8公斤/毫米²（80兆帕）的烧结层。根据H.B.阿夫吉叶夫的建议，烧结气氛应采用氢气、分解氨、可燃气、氩气、氦气、氮气等，在加热的同时工件还要压紧施以静压力。

在空气中进行金属粉末层的烧结可简化工艺过程，用于修理非常有效。制造金属陶瓷活塞环的工艺方案（1964年）证明，利用高频感应快速加热进行压实的制品的制造是可行的。然而金属粉末及其混料在空气中快速加热进行烧结，如果不采用特殊的活性添加剂，要获得优质的烧结层则是不可能的。

为了在氧化介质中进行高温加热达到简化烧结工艺过程和改善烧结层的质量和技术性能，添加剂应符合下述要求：

1. 对氧具有高的亲合力；
2. 能形成氧不能渗透的液相膜，它能在加热时防止表面氧化；

3. 具有合金化性质并能促进形成抗磨层。

对三价铁粉和以这种铁粉为主的合金来说，最能满足上述要求的添加剂是硼和硅。

试验指出，在空气中采用高频感应加热的条件下，向各种金属粉末（例如ПЖ2М、ПЖ3М、瑞典霍根纳斯公司的M-100-24铁粉、镍和ШХ、Х30、Х17Н12、Х17Н20钢粉等）加入1.5~2.5%（按重量）非晶质硼粉和同量的晶质硅粉，可以获得粉末层和基体具有12~25公斤/厘米²（1200~2500千帕）结合强度的优良烧结件。如果在压制成型时对混合料施以较大的压力或者混合的粉料本身就含有上述元素，减少添加剂的量并不降低其烧结质量，例如Х13М2С2高合金钢粉本身含有1.4%的硅，因而向粉末中另外添加硅的量就可以少些。ПГ-ХН80СР和СНГН型复杂的铬镍硬质合金粉末含有足够数量的硼和硅，因而在空气中进行烧结时不需另外再加入添加剂。

可以用硼铁（FeB）和碳化硼（B₄C）代替非晶质硼粉，用硅铁（FeSi）、一氧化硅和二氧化硅代替晶质硅粉。这种添加剂——硼的代用品——的加入量要比用硼粉时多一倍，而其烧结性能和烧结层的质量则比不上用非晶质硼粉。

金属粉末中的含氧量和还原性气体介质将影响烧结性能，因为在被用作涂层之前粉末就已经氧化了。

研究指出，为了保证在空气中具有优良的烧结质量，氧的含量不应超过1%。而热处理氧化了的粉末不宜选用分解氨作为还原性气体介质。分解氨促进形成氮化膜（离子结合的性质），它阻止烧结层和基体产生牢固的金属结合。铁粉经过在氢气和天然气中还原（铁粉含氧0.6%），可以获得较为满意的烧结层。含氧0.2~0.4%的铁粉具有最好的烧结

质量，这样的典型粉末有布若瓦尔斯克粉末冶金厂生产的ПЖ1М号和瑞典霍根纳斯公司生产的M-24-10号。这种粉末不必事前采取什么还原工序就可直接涂敷。

粉末组织里如果加有铬粉（铬粉的表面有层坚固的氧化膜），其含量大于5%（按重量）时，就不一定能获得可靠的烧结性能，不能保证形成坚实的烧结层。为了消除这种缺点，在组成抗磨的含铬合金粉末时，建议铬粉以铬铁（例如X30钢粉）的形式混入。

为了保证金属粉末及该金属粉末的其他组合成分在氧化性空气介质中的烧结性能，可采用金属的磷化物粉末、以镍为主体的ПХ12Н75С8Р合金粉末以及以银为主体的ПСП90、ПСП45钎料和以铜为主体的ПМЧ48、ПМЖФ3，7钎料粉末作为添加剂。用这些钎料作添加剂时最好掺入一些硼砂、氯化钾、氟化钠等盐类或硼酐或氧化铍（ B_2O_3 、BeO）等化合物，以及钎焊时广泛使用的其他钎剂，它们在受热后分解可以形成一种保护气体。

三、工艺的继承性

根据粉末冶金的特点，粉末在零件上形成烧结层的温度不超过粉末中主要金属成分的熔点，是该工艺过程的主要特征。虽然加热的温度根据施予涂层的压力和涂施方法的不同可以有很大的出入（加热温度为粉末材料熔点的0.4至0.95），但是如果遵守上述要求，粉末材料金属原有的结构和性质即能保证，从而为粉末生产创造最好的条件。众所周知，进行粉末金属制品生产力争要得到细弥散结构的制品，这样的结构涂层经过热处理可以得到比同样化学成分的堆焊层更高的硬度和抗磨性。有些材料的堆焊层（例如用磁性硬质合金、铬镍合金等堆焊的焊层）要想在热处理之后得到细弥散结构

是办不到的。保证烧结成具有细弥散结构的成品就要继承一定的工艺因素，这些因素是在早期粉末生产工艺中奠定的，遵守这些工艺因素，即可保证得到具有最高的硬度、抗磨、抗腐蚀等性能的烧结层。

采用金属粉末烧结的方法制取抗磨层，与堆焊相比，除了上述特点之外还有一些其他优点，例如为了获得抗磨层可采用含有难熔化合物的复合材料。

堆焊时，这些化合物的固相在结晶和随后的热处理过程中就析出了。由于这种固相从堆焊层中析出，常常引起堆焊材料的稀释，这就降低了堆焊层材料的使用性能。大部分和金属相似的这类难熔碳化物，特别是硼化物、硅化物以及一些氮化物，具有很高的溶于金属的性能，因而在选择难熔化合物作为合金组元时，所遇到的困难与对软基体进行渗碳一样大。此外，这类难熔化合物不能承受堆焊时产生的以及在和许多金属发生化学反应时产生的高温，而形成复杂的脆性相。如果说堆焊复合抗磨层时需要对金属基体材料进行仔细的选择，以保证它和难熔相仅有轻微的化学反应，或者选择难熔相以保证硬度、抗磨性以及对基体材料不易发生什么化学反应，那么采用烧结方法时，由于降低了抗磨层形成的温度，上述担心就成为不必要的了。

四、烧结层的多孔性

用烧结涂层的方法制造零件，不难在涂层中得到所要求的孔隙度。这样生产的复合零件，其表层的性质和整体烧结制品是一样的。

带有粉末烧结涂层材料的零件，浸透了油后易于磨合，在需要经常起动、停机的摩擦条件下能保存润滑油，具有优良的抗腐蚀性能，能减轻与它相配的摩擦副的磨损，可以