

# 农机零件的 磨损、选材 及热处理



黄建洪 等编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 农机零件的磨损、 选材及热处理

黄建洪 刘东雨 李凌云 张秀梅 编著



机械工业出版社

本书主要内容包括：农机零件的磨损失效与性能要求、金属的磨损机理及实验方法、影响材料耐磨性的主要因素、显微组织对钢铁抗磨料磨损性能的影响、农机零件的特殊要求和农机行业的绿色生产、农机用耐磨铸铁、提高零件耐磨性的化学热处理、耕整机具典型零件的选材与热处理、农作物收获和采集机械刀片的选材和热处理、农产品加工机械耐磨零件的选材和热处理、几种农机易磨配件的选材和热处理。本书理论结合实际，深入浅出，内容翔实，实用性强。

本书可供农机工程技术人员、热处理工程技术人员和相关专业在校师生参考，也可作为技术培训教材。

## 图书在版编目（CIP）数据

农机零件的磨损、选材及热处理/黄建洪等编著. —北京：机械工业出版社，2013.5

ISBN 978-7-111-41829-0

I. ①农… II. ①黄… III. ①农业机械—零部件—磨损②农业机械—零部件—材料③农业机械—零部件—热处理 IV. ①S220.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 050313 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：陈保华 责任编辑：陈保华

版式设计：霍永明 责任校对：张 媛

封面设计：姚 毅 责任印制：乔 宇

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2013 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 25.75 印张 · 526 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-41829-0

定价：55.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066 教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010)68326294 机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010)88379649 机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

# 序

30多年前我想买这样一本书,遍寻无着。今天我们编写了这本书,献给农机战线的同仁。

本人1955年毕业于山东工学院金属热处理专业,分配到原苏联援建的156项重点工程之一的包头某军工厂,参加了工具和仪表两个热处理车间从资料翻译、厂房建设、设备安装到投产的全过程。后因中苏关系破裂,工厂停产,调到学校、机关,于1973年转到内蒙农机研究所。进所第10天就被派到北京中国农机院参加全国农机新材料调查。这时认识了保定农机厂李凌云同志。当时他已在农机行业奋战十多年,我才十几天,他是老师。调查组走访了许多农机厂、所,使我对农业机械有了一些感性认识。所见所闻都是由于磨损造成农机寿命短、材料消耗大的问题。牧民戏称剪毛机是“拔毛机、推土机、打火机”(毛中砂土多,刀片磨钝形成拔毛;剪头推进时尘土飞扬;晚上剪毛火星直冒)。用户反映国产沙泵是“一支烟泵”(抽一支烟工夫,叶轮就磨坏了)。我想,解决磨损问题将是我今后的主要课题。

1973年底原一机部《十年科技发展规划》中将农机的犁铧、收割机和剪毛机刀片等纳入“100个基础件攻关”项目。农机院让我参与筹建刀片攻关组并主攻剪毛机和割草机刀片。1978年剪毛机刀片攻关提前完成,并获全国科学大会奖。我还部分参加了收割机刀片和轧棉花机锯片攻关,走遍了除西藏外的各大牧区、团场、农村和有关工厂。深感农机零件的磨损与金工刀具模具之磨损差异巨大,就是同一农机件在不同自然条件下服役,其失效方式、磨损机理和性能要求也大不相同。农机件的磨损远比厂房中机器零件的磨损复杂得多,不深入现场进行细致的分析是不行的。那些年出差时,我跑遍了书店和图书馆,想找一本针对农机零件全面、系统分析磨损机理,并从设计与材料热处理角度论述解决对策的书籍。但叙述金属磨损的书有一些,举例都是齿轮、轴承、工模具,联系农机的唯有犁铧,其他只是零星点滴,浅尝辄止,读后如同隔靴搔痒。

在实践积累并自学一些磨损理论的基础上,1992—1994年主持完成了国家自然科学基金“四类常用农机刀片磨损机理的综合研究”项目,被评为优秀成果。1995年底退休。1997年、2005年应邀参加《热处理手册》第3、4版的修订工作,重写了“农机具零件热处理”一章,但总觉得言犹未尽。感到只让农机热处理同仁了解这些不行,他们只是设计意图的贯彻者,设计图上出了偏差,选材不当,对热处理要求有误,则损失严重。设计师多掌握一些磨损理论和新材料、新工艺知

识,是提高产品质量之本。

2008年手册第4版刚问世,机械工业出版社陈保华编审就邀我写一本农机零件热处理专著。正合我意,但老眼昏花,力不从心,于是恳请在写手册时给我大力支持的刘东雨教授、李凌云高工和张秀梅副教授共同完成。刘、张二位老师理论功底深厚,他们教学任务和行政工作都很繁重,经常在出差途中撰稿,甚至在上车前一小时还打电话给我,告知刚查到的资料,为我释疑。李高工是国内耕整机械方面权威,享受国务院特殊津贴的专家,患病期间,明天住院,当晚还将修改稿誊抄一份,次日早上寄我。我们都是责任感和使命感鞭策下奋蹄不止的人。

农业机械有5000多个品种,零件数十万计。我们只能通过对不同类型的典型零件入手,从摩擦学与金属学相结合上,深入剖析失效方式和磨损机理,最后引入选材和热处理工艺,让读者知其然并知其所以然,在处理其他问题时,能举一反三,触类旁通。

中华民族是高度智慧的民族。她在科学技术的每项成就中,往往还体现出独特的思维哲理和辩证的认识论与方法论。材料热处理学科是将微观组织结构与宏观性能相统一的科学,需要更多的辩证思维。中央人民广播电台《中国之声》强调为听众提供“有思想的新闻”。本书在讨论问题时,尽我们所能引导读者用辩证唯物主义的认识论和方法论去分析矛盾,解决问题。所谓“授之以鱼仅供一餐之需,而授之以渔则可供终生享用”。当今提倡创新与发明,但创新和发明不是突然冒出的灵感,而是知识的长期积淀,在阳光、春雨、沃土中崭露的新芽。

我们注意到当前我国还有数以千计的中小农机厂。他们设备落后,技术力量薄弱,却担负着祖国大地上大多数农机具的修造和配件生产任务。他们亟需实用技术的支持。书中介绍的工艺有的并非最先进,但中小厂都能用得上。工艺虽非最先进,原理不能有错,掌握了正确原理,就能改造设备,创新工艺。对那些浪费资源(含水)、能源、污染破坏环境的工艺,一概摒弃。考虑到读者群专业不同和文化程度有别,对一些词语作了必要注释。在引用的资料中发现疑点,必多方查对,纠正了不少错误,避免以讹传讹。但本书不能代替热处理课本,热处理基本知识还要查阅相关书籍。

虽有雄心,但水平所限,谬误难免,敬请指正。

黄建洪

# 前 言

我国在建设社会主义新农村和实现农业可持续发展的过程中,必须加强农业基础,致力于改善农业生产条件,提高农业机械化水平。经济发展处于领先地位的世界各国都是先解决了农业机械化问题,农业现代化才得到了实现。想要大幅度提高农业劳动生产率,就必须实现农业机械现代化。

本书结合几十个不同类型的农机零件,深入浅出地介绍了金属磨损机理,将摩擦学与金属学相结合,剖析了农机零件的失效方式。在查明磨损机理的基础上,对农机零件的科学选材及制订热处理工艺进行了系统介绍。针对当前中小农机厂的技术现状,本书介绍了数百个热处理和表面强化工艺与配方、操作要领与技术诀窍,并从金属学和热处理原理上分析了其强化机理。

参加本书编写的人员有内蒙古农机研究所的黄建洪高级工程师、华北电力大学的刘冬雨教授、保定农机厂的李凌云高级工程师、内蒙古工业大学的张秀梅副教授。全书共11章,由黄建洪、刘东雨共同拟定编写提纲。第1章由黄建洪编写;第2章由刘东雨编写;第3章、第4章由刘东雨、黄建洪编写;第5章由黄建洪、李凌云编写(李凌云因健康原因,只编写了5.6节,但他为本书犁铧、犁壁部分提供了大量资料);第6章、第11章由张秀梅、黄建洪编写;第7章除了7.3节由张秀梅编写外,其余部分由黄建洪编写;第8章、第9章、第10章由黄建洪编写。全书由黄建洪统编定稿。

本书虽为农机零件热处理工作者而写,更希望农机设计人员从中了解如何从磨损角度进行设计、选材和制订热处理要求。书中不可避免地谈到一些理论问题,但具有中学文化程度的工人和非热处理专业人员也能读懂和受益。

在本书编写过程中,参考引用了大量国内外相关图书和有关内容,在此向有关作者表示衷心感谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在不当之处,敬请读者批评指正。

作 者

# 目 录

序

前言

<b>第 1 章 农机零件的磨损失效与性能要求</b> .....	1
1.1 农机零件的磨损失效分析 .....	1
1.2 造成农机零件磨损的磨料 .....	6
1.2.1 土壤与农作物中的砂粒 .....	6
1.2.2 植物体内的硅酸体 .....	8
1.2.3 其他磨粒 .....	11
1.3 农机耐磨零件的力学性能要求 .....	11
1.3.1 硬度 .....	12
1.3.2 其他力学性能对耐磨料磨损性的影响 .....	16
1.4 正确看待实验室磨损试验结果 .....	17
<b>第 2 章 金属的磨损机理及试验方法</b> .....	19
2.1 磨损的评定方法 .....	19
2.1.1 一般磨损试验结果的表达 .....	19
2.1.2 腐蚀磨损试验结果的表达 .....	20
2.2 磨料磨损 .....	22
2.2.1 磨料磨损的分类 .....	22
2.2.2 磨料磨损机理 .....	24
2.3 粘着磨损 .....	30
2.3.1 粘着磨损方程 .....	31
2.3.2 粘着磨损机制 .....	33
2.4 表面疲劳磨损 .....	34
2.4.1 表面疲劳磨损的接触区域 .....	35
2.4.2 表面疲劳磨损机理 .....	36
2.5 腐蚀磨损 .....	38
2.5.1 腐蚀磨损的分类 .....	38
2.5.2 腐蚀磨损机制 .....	39
2.6 微动磨损 .....	43
2.6.1 微动磨损的特点 .....	43
2.6.2 微动磨损机理 .....	44
2.7 金属磨损试验方法 .....	45

2.7.1 磨损试验的类型及试验结果表征 .....	45
2.7.2 磨料磨损试验机 .....	47
2.8 磨损零部件的失效分析 .....	50
<b>第3章 影响农机材料耐磨性的因素 .....</b>	<b>54</b>
3.1 影响材料磨料磨损性能的主要因素 .....	54
3.1.1 磨料及其性能的影响 .....	55
3.1.2 外部条件的影响 .....	57
3.1.3 材料力学性能的影响 .....	64
3.2 化学成分对钢磨料磨损性能的影响 .....	67
3.2.1 碳含量的影响 .....	67
3.2.2 合金元素含量的影响 .....	68
3.3 化学热处理后钢的显微组织及其耐磨料磨损性能 .....	72
3.3.1 渗碳、渗氮、氮碳共渗组织及其耐磨性 .....	72
3.3.2 渗硼、硼铬稀土共渗组织及其耐磨性 .....	73
3.4 影响金属耐粘着磨损性能的因素 .....	75
3.4.1 粘着磨损三阶段 .....	75
3.4.2 外部因素的影响 .....	76
3.4.3 零件自身因素的影响 .....	77
3.4.4 摩擦副材料匹配的影响 .....	80
3.4.5 显微组织对钢铁抗粘着磨损性能的影响 .....	81
<b>第4章 显微组织对钢铁抗磨料磨损性能的影响 .....</b>	<b>84</b>
4.1 影响因素与基本规律 .....	84
4.1.1 复杂多变的磨损机制 .....	84
4.1.2 微观组织影响的基本规律 .....	86
4.1.3 各种基体组织的耐磨料磨损性能概述 .....	87
4.2 马氏体基体的影响 .....	88
4.3 碳化物的影响 .....	90
4.4 残留奥氏体的影响 .....	94
4.5 淬火后深冷处理的影响 .....	98
4.6 托氏体的影响 .....	99
4.7 贝氏体组织的影响 .....	100
4.7.1 无碳化物贝氏体 .....	100
4.7.2 上贝氏体 .....	101
4.7.3 下贝氏体 .....	102
4.7.4 等温淬火与回火工艺 .....	105
4.7.5 奥-贝球墨铸铁锤头上的实践 .....	105
4.8 显微缺陷等的影响 .....	106
4.8.1 显微缺陷犹如内部缺口 .....	106



4.8.2	显微缺陷与疲劳失效 .....	107
4.8.3	喷丸处理的影响 .....	108
4.8.4	表面残留应力的影响 .....	109
4.8.5	沉淀析出相的影响 .....	109
4.9	热处理钢中复相组织的耐磨性 .....	109
<b>第5章 农机零件的特殊要求和农机行业的绿色生产 .....</b>		<b>113</b>
5.1	刀片的自磨锐性能 .....	113
5.2	刀片的锋利性与耐磨性 .....	116
5.3	耕整地机件的脱土性 .....	117
5.4	耐腐蚀磨损性能 .....	119
5.5	农机行业热处理的环保与安全问题 .....	120
5.5.1	淘汰落后的、有害的热处理工艺 .....	120
5.5.2	消灭该热处理而不热处理零件 .....	120
5.5.3	防止热处理产品的污染与安全问题 .....	121
5.6	犁铧犁壁的使用性能、工作寿命和节能 .....	122
5.6.1	犁铧 .....	123
5.6.2	犁壁 .....	124
5.7	农机新材料的开发应用 .....	125
5.7.1	研发与选材并重,新材料与新工艺并举 .....	125
5.7.2	低淬透性钢的推广应用 .....	126
5.7.3	保证淬透性钢的应用 .....	127
<b>第6章 农机用耐磨铸铁 .....</b>		<b>129</b>
6.1	普通白口铸铁 .....	129
6.2	合金白口铸铁 .....	131
6.2.1	镍硬铸铁 .....	131
6.2.2	锰白口铸铁 .....	132
6.2.3	铬白口铸铁 .....	133
6.3	铸渗技术 .....	137
6.3.1	铸渗复合耐磨材料 .....	137
6.3.2	铸渗在耐磨方面的应用 .....	142
6.4	奥氏体-贝氏体球墨铸铁 .....	145
6.4.1	球墨铸铁中奥氏体-贝氏体组织的本质 .....	145
6.4.2	奥氏体-贝氏体球墨铸铁的强化机理 .....	147
6.4.3	化学成分对奥氏体-贝氏体球墨铸铁的影响 .....	148
6.4.4	对球墨铸铁强韧化的新观点 .....	150
6.4.5	生产工艺与贝氏体等温转变三阶段 .....	152
6.4.6	消除锰的偏析和减少白亮区 .....	154
6.4.7	铸态直接获得奥氏体-贝氏体球墨铸铁 .....	154

6.4.8	白口铸铁的奥氏体-贝氏体球墨铸铁化等温淬火	155
6.4.9	奥氏体-贝氏体球墨铸铁应用实例	156
<b>第7章</b>	<b>提高零件耐磨性的化学热处理</b>	<b>160</b>
7.1	概述	160
7.1.1	常用化学热处理的种类	160
7.1.2	化学热处理方案的选择	161
7.1.3	化学热处理的基本过程	161
7.1.4	加速化学热处理过程的途径	161
7.1.5	稀土的催渗作用	167
7.1.6	BH催渗技术	168
7.1.7	影响扩散的因素	169
7.2	渗碳与碳氮共渗	180
7.2.1	渗碳与脱碳——古老的中华炼钢术	180
7.2.2	以铸铁为渗碳剂是古代中国的重大发明	181
7.2.3	性价比高的表面强化工艺	182
7.2.4	正确设计硬化层深度和碳氮浓度	183
7.2.5	金相渗层深度与有效硬化层深度之关系	187
7.2.6	渗碳和碳氮共渗金相试样的快速化学抛光	188
7.2.7	固体渗碳——古树新葩	188
7.2.8	膏体渗碳与高频膏体渗碳	193
7.2.9	液体渗碳	194
7.2.10	气体渗碳	195
7.2.11	真空渗碳、离子渗碳和流态床渗碳	203
7.2.12	渗层碳化物形态	204
7.2.13	渗碳前的准备工作	207
7.2.14	合金渗碳钢锻坯的等温正火	209
7.2.15	渗碳后的热处理	210
7.2.16	减少渗层残留奥氏体量的措施	213
7.2.17	获得表面残留压应力的措施	213
7.2.18	碳氮共渗及其特点	214
7.2.19	气体碳氮共渗的渗剂	217
7.2.20	气体碳氮共渗工艺	218
7.2.21	渗碳和碳氮共渗常见疵病	221
7.2.22	渗碳和碳氮共渗工艺精选	222
7.2.23	高速工具钢低温渗碳	226
7.2.24	渗碳制造无莱氏体高速钢、模具钢	228
7.3	渗氮	229
7.3.1	钢的渗氮原理	229

7.3.2	渗氮层的组织和性能 .....	230
7.3.3	渗氮用钢及渗氮前的热处理 .....	233
7.3.4	气体渗氮设备及工艺 .....	234
7.3.5	渗氮工艺的发展 .....	237
7.4	氮碳共渗 .....	240
7.4.1	机理与渗层组织 .....	240
7.4.2	气体氮碳共渗工艺 .....	242
7.4.3	气体氮碳共渗剂 .....	243
7.4.4	注意事项 .....	245
7.4.5	催渗问题 .....	247
7.5	奥氏体氮碳共渗 .....	250
7.5.1	温度之定位 .....	250
7.5.2	共渗后的组织与性能 .....	250
7.5.3	含氮马氏体时效中的转变 .....	251
7.5.4	工艺参数的选择 .....	252
7.5.5	化合物层疏松及其预防 .....	253
7.6	工具钢含氮马氏体化处理(N. M. 处理) .....	254
7.6.1	N. M. 处理之定义 .....	255
7.6.2	N. M. 处理工艺 .....	256
7.6.3	渗层成分与组织 .....	256
7.6.4	应用效果 .....	257
7.6.5	碳化物消除的机理 .....	257
7.6.6	请重视固溶化学热处理 .....	258
7.7	渗硫 .....	259
7.7.1	渗硫层的组织结构与性能 .....	260
7.7.2	渗硫工艺与配方 .....	261
7.8	硫氮、硫氮碳等多元共渗 .....	266
7.8.1	硫氮共渗 .....	266
7.8.2	硫碳氮共渗 .....	267
7.8.3	氧硫碳氮硼五元共渗 .....	268
7.9	镍-磷镀和镍-磷基复合镀 .....	272
7.9.1	镍-磷化学镀工艺和配方 .....	272
7.9.2	镍-磷镀层热处理及其组织、性能变化 .....	274
7.9.3	镍-磷化学镀层的钝化处理 .....	278
7.9.4	镍-磷基复合镀 .....	278
7.9.5	其他施镀工艺 .....	281
7.9.6	建议和提醒 .....	283

<b>第 8 章 耕整机具典型零件的选材与热处理</b> .....	285
8.1 概述 .....	285
8.1.1 耕整机具的磨损失效分析 .....	285
8.1.2 影响耕具磨损的因素 .....	287
8.2 犁铧的选材与热处理 .....	291
8.2.1 服役条件与失效方式 .....	291
8.2.2 技术要求与选材 .....	292
8.2.3 热处理工艺 .....	292
8.3 犁壁的选材与热处理 .....	295
8.3.1 服役条件与失效方式 .....	295
8.3.2 技术要求与选材 .....	296
8.3.3 热处理工艺 .....	297
8.4 圆盘的选材与热处理 .....	298
8.4.1 服役条件与失效方式 .....	298
8.4.2 技术要求与选材 .....	300
8.4.3 热处理工艺 .....	300
8.5 锄铲的选材与热处理 .....	301
8.5.1 服役条件与失效方式 .....	301
8.5.2 技术要求与选材 .....	302
8.5.3 热处理工艺 .....	304
8.6 旋耕刀的选材与热处理 .....	306
8.6.1 服役条件与失效方式 .....	306
8.6.2 技术要求与选材 .....	306
8.6.3 热处理工艺 .....	307
<b>第 9 章 农作物收获和采集机械刀片的选材与热处理</b> .....	309
9.1 概述 .....	309
9.1.1 刀片磨损的研究方法与手段 .....	309
9.1.2 刀片的失效分析与磨损机理 .....	311
9.1.3 碳化物在刀片磨损过程中的功过 .....	314
9.2 剪毛机刀片的选材与热处理 .....	317
9.2.1 服役条件与失效分析 .....	317
9.2.2 技术要求与选材 .....	318
9.2.3 热处理工艺 .....	320
9.2.4 经验总结 .....	327
9.3 往复式收割机刀片的选材与热处理 .....	328
9.3.1 服役条件与失效方式 .....	329
9.3.2 技术要求与选材 .....	330
9.3.3 热处理工艺 .....	330

9.3.4 T9 钢刀片下贝氏体金相检验 .....	331
9.4 秸秆和根茬粉碎还田机刀片的选材与热处理 .....	332
9.4.1 服役条件与失效方式 .....	332
9.4.2 技术要求与选材 .....	333
9.4.3 热处理工艺 .....	334
9.5 铡草和青饲料切碎刀片的选材与热处理 .....	335
9.5.1 服役条件与失效方式 .....	335
9.5.2 技术要求与选材 .....	335
9.5.3 热处理工艺 .....	336
<b>第 10 章 农产品加工机械耐磨零件的选材与热处理</b> .....	<b>338</b>
10.1 脱粒机弓齿、钉齿和切草刀的选材与热处理 .....	338
10.1.1 服役条件与失效方式 .....	338
10.1.2 技术要求与选材 .....	339
10.1.3 热处理工艺 .....	339
10.2 饲料粉碎机锤片的选材与热处理 .....	340
10.2.1 服役条件与失效方式 .....	340
10.2.2 技术要求与选材 .....	340
10.2.3 热处理工艺 .....	341
10.3 筛片的选材与热处理 .....	342
10.3.1 服役条件与失效方式 .....	342
10.3.2 技术要求与选材 .....	343
10.3.3 热处理工艺 .....	343
10.4 颗粒饲料压粒机环模与压辊的选材与热处理 .....	344
10.4.1 服役条件与失效方式 .....	344
10.4.2 技术要求与选材 .....	345
10.4.3 热处理工艺 .....	346
10.5 轧棉花机、剥绒机锯片和肋条的选材与热处理 .....	348
10.5.1 服役条件与失效方式 .....	348
10.5.2 技术要求与选材 .....	349
10.5.3 热处理工艺 .....	349
10.6 榨油机榨螺轴的选材与热处理 .....	351
10.6.1 服役条件与失效方式 .....	351
10.6.2 技术要求与选材 .....	352
10.6.3 热处理工艺 .....	352
<b>第 11 章 几种农机易磨损配件的选材与热处理</b> .....	<b>354</b>
11.1 齿轮 .....	354
11.1.1 失效分析与预防措施 .....	354
11.1.2 齿轮材料的选择和热处理 .....	363

---

11.2 曲轴 .....	371
11.2.1 服役条件与失效方式 .....	371
11.2.2 曲轴材料的选择和热处理 .....	372
11.3 履带板 .....	379
11.3.1 服役条件与失效方式 .....	379
11.3.2 履带板的选材和热处理 .....	380
11.4 农机链传动零件的选材与热处理 .....	384
11.4.1 钩式链 .....	384
11.4.2 套筒滚子链 .....	386
11.4.3 链轮 .....	389
<b>参考文献</b> .....	<b>391</b>

# 第 1 章 农机零件的磨损失效与性能要求

我国幅员辽阔，自然环境和气候差异极大，农林牧副渔业生产条件、作业技术极不相同，因而农业生产所用机具品种繁多。我国农业机械可分为 16 大类，100 小类，据不完全统计共有 5000 多个品种。随着科学技术和生产的发展，农机的品种还在日益增多。农机零件的选材与热处理技术也应与时俱进，以满足时代对农机质量不断提高、对环境保护和节能减排日益严格的要求。

农机零件的共同特点就是工作条件恶劣，常在潮湿或带腐蚀（如化肥、粪尿、农药）的环境中工作，经常与土壤中砂石或农作物中的磨料发生摩擦磨损，有时还有振动与冲击。农机中的传动件（如轴类、齿轮和履带等）虽然多受交变应力作用而疲劳失效，但相互间还存在粘着磨损，也要受到土壤砂粒的磨料磨损和有害介质的侵蚀。因而零件除需要有足够的强度、刚度和韧性外，还应具备很高的耐磨性和较好的耐蚀性。

## 1.1 农机零件的磨损失效分析

农机零部件主要失效和破坏形式有：断裂、变形和磨损。对于那些在腐蚀环境中工作的零部件，腐蚀可能是造成失效的主要原因。一般来说，零部件的变形和早期断裂属不正常现象，往往是设计不合理、选材或热处理工艺不当造成的，或是使用中操作失误引发的偶然事故。而零部件的磨损则是难免的。正常情况下磨损是农机零件失效破坏的主要形式和材料消耗的第一位原因，占 80% 以上。有些零件虽然最终因断裂而失效，也很可能是先受磨损使断面变小后强度刚度不足，导致变形和断裂的（如犁铧）。还有些零件如过分顾及韧性而降低硬度，就会转而以磨损形式失效。所以农机零件的失效都直接或间接与磨损有关。

在诸多磨损形式中，农机零件以磨料磨损为第一位，占总磨损量的 50% 以上；其次是粘着磨损。各种农机零件的失效分析见表 1-1。

表 1-1 农机易磨损零件的失效分析

序号	零件名称	失效原因与失效方式
1	齿轮	1) 滚动中齿面受周期性压应力作用，产生接触疲劳磨损，导致点蚀剥落、浅层剥落和深层剥落 2) 齿面相互滑动，在摩擦力作用下产生粘着磨损（胶着、撕裂、咬死），此外还有氧化磨损

(续)

序号	零件名称	失效原因与失效方式
1	齿轮	<p>3) 疲劳磨损、粘着磨损产生的磨屑和外来磨粒进入啮合齿面, 产生三体磨料磨损, 划伤齿面</p> <p>4) 齿轮根部受周期性弯曲应力, 产生弯曲疲劳断裂</p> <p>5) 变速器齿轮在换挡时受冲击应力, 导致齿轮端面多冲疲劳, 小块崩落, 齿长逐渐变短, 直至挂不上档而报废</p>
2	链条	<p>1) 在中低速闭式链传动中, 链板以疲劳断裂为主</p> <p>2) 在高速闭式链传动中, 由于滚子冲击, 动载荷增大, 滚子和套筒产生疲劳点蚀和疲劳破裂</p> <p>3) 元件受频繁起动, 制动和正反转而受很大惯性冲击, 导致多冲破裂</p> <p>4) 铰链和链轮轮齿啮入与脱离时, 相对滑动, 导致磨损, 节距变长而传动失灵、失效</p> <p>5) 高速运转中, 链条、链轮啮合和脱离时, 销轴与套筒因摩擦发热产生粘着磨损, 甚至胶着、咬合而破坏</p> <p>6) 风沙、土壤的磨料磨损, 农药、化肥和雨水的腐蚀磨损</p> <p>7) 安装不良, 张紧度不当, 起动、制动、反转时受巨大惯性冲击, 使销轴、套筒、滚子提早冲击破裂</p>
3	链轮	<p>1) 与链条元件滑动摩擦, 产生受力一侧粘着磨损, 链条、链齿安装不在同一平面时磨损更甚</p> <p>2) 热处理不良, 齿面硬度低, 当过载时齿面塑性变形, 使链传动稳定性变差, 加速失效</p> <p>3) 风沙、农药、化肥、雨水的浸蚀, 造成磨料磨损和腐蚀磨损</p>
4	蜗轮与蜗杆摩擦副	<p>1) 接触疲劳磨损、氧化磨损、磨料磨损与齿轮有相似之处</p> <p>2) 蜗轮突出的是粘着磨损失效, 故蜗轮选用锡青铜, 蜗杆用渗碳钢或表面淬火钢制造, 使摩擦副具有良好的相容性, 降低粘着、胶合的发生, 并要求有良好的磨合性和减磨性</p> <p>3) 蜗杆受短时大冲击载荷 (如绞车、碾碎机等) 时, 渗碳层、硬化表层发生碎裂</p> <p>4) 当蜗杆刚度不足, 受力后变形过大时, 造成蜗轮齿面局部过载加剧磨损 (尤其是变载传动时)</p>
5	凸轮与挺杆摩擦副	<p>凸轮轴整体除受弯曲和扭转载荷外主要是凸轮的磨损</p> <p>1) 受接触疲劳产生点蚀剥落</p> <p>2) 粘着磨损擦伤或“光面磨损”。当工作面温度达 200℃ 时, 可产生极严重的粘着磨损, 磨损面光滑无痕, 但尺寸检查发现磨损十分严重, 平底挺杆上尤为突出</p> <p>3) 受混入的砂尘或油中磨屑杂质而产生磨料磨损</p> <p>4) 氧化磨损</p> <p>5) 对挺杆与凸轮接触面的擦伤痕和磨屑进行分析发现, 擦伤有典型的应变疲劳磨损特征, 实际上是接触疲劳所致剥层磨损</p>



(续)

序号	零件名称	失效原因与失效方式
6	排气阀杆	<p>1) 排气阀杆盘部和颈部受高温气体冲刷与气蚀、热腐蚀和热疲劳磨损, 产生阀面烧损, 阀盘疲劳碎裂</p> <p>2) 排气阀杆与气门导管下部发生严重粘着磨损, 阀杆上金属大量涂沫到导管内壁, 导致不能灵活滑动</p> <p>3) 阀杆尾端与摇臂产生粘着磨损和接触疲劳磨损</p> <p>在以上因素共同作用下阀杆断裂</p>
7	气缸套	<p>气缸套和活塞环在高的工作温度和高压燃气介质中滑动摩擦, 并受交变载荷与一定冲击。失效方式有:</p> <p>1) 发生粘着磨损和磨料磨损, 产生与运动方向一致的纵向擦伤和划痕</p> <p>2) 发生疲劳磨损, 产生与纵向裂纹接近垂直的横向小裂纹和点蚀剥落</p> <p>3) 受高温燃气侵蚀产生腐蚀磨损和气蚀磨损</p> <p>最终因磨损, 尺寸超差而损坏</p>
8	活塞环	<p>服役条件同上, 最主要的磨损形式是粘着磨损</p> <p>1) 在磨合阶段尚未完成就施加满负荷或全速, 可导致胶合</p> <p>2) 经长时间工作后, 因润滑条件变差也将发生胶合, 伴随产生高温、噪声和渗漏</p> <p>3) 磨料磨损和腐蚀磨损</p> <p>4) 最终发生疲劳折断</p>
9	活塞销	<p>1) 在较高工作温度下承受非对称交变载荷, 并有一定冲击, 最终因弯曲疲劳而断裂</p> <p>2) 表面在润滑不良条件下与连杆小头发生粘着磨损、氧化磨损, 加速了疲劳断裂</p>
10	柴油机喷油嘴精密偶件: 针阀、阀体	<p>喷油嘴阀体端部工作温度约 260℃, 在高压下针阀顶端与阀体端部发生强烈摩擦</p> <p>1) 如材料耐回火性能差或热处理工艺不当, 在高温下硬度和耐磨性降低, 加速磨损, 造成间隙加大, 引起漏油或燃油雾化不良, 影响柴油机正常工作</p> <p>2) 热处理后残留奥氏体较多或内应力消除不彻底, 尺寸稳定性差, 高温下产生变形, 针阀与阀体卡死, 无法工作</p>
11	滑动轴承 (轴瓦)	<p>1) 轴承与轴颈摩擦产生粘着磨损, 使温度升高, 振动和噪声增大, 运转精度下降, 甚至胶合、咬死</p> <p>2) 外来杂质造成磨料磨损, 导致轴颈磨损或硬颗粒嵌入轴承表面, 不断划伤轴颈</p> <p>3) 变载振动或轴承结构挠曲使轴承金属产生疲劳裂纹</p>