

內 燃 机 全 集

〔德国〕李 斯 德 主 編

—— 第 十 四 卷 ——

內燃机的磨蝕运转参数与經濟性

〔德国〕C. 恩 格 利 許 著

上 海 科 学 技 术 出 版 社

內 容 提 要

本書系根據李斯德教授主編內燃機全集中，1952 年增補第二版的第十四卷“內燃機之磨蝕、運轉參數與經濟性”譯出。

全書包括所有與內燃動力機器有關的理論、構造及計算。本卷的範圍，限制於磨蝕、運轉參數與經濟性三方面。

本卷共分為三大部：第一部討論內燃機中的磨蝕理論以及內燃機中重要構件上的磨蝕現象；第二部討論運轉參數的測定，並羅列有極豐富的實驗數據；第三部討論內燃動力裝置的經濟性。

本卷的讀者，可以是未來的工程師們——高等工業大學中有關專業的同学——，也可以是有關方面實際工作的工程師們及研究人員們；本卷將在前者的專業學習、課程設計與畢業設計中有所裨益，也將在後者的業務方面，有極大的幫助。

內 燃 機 全 集

主 編 (德國) Hans List

— 第 十 四 卷 —

內燃機的磨蝕、運轉參數與經濟性

原出版者：Wich Spring Verlag, 1952 年版

原譯者：(德國) Dr.-Ing. Carl Edglish

譯 者 培

*

上海科學技術出版社出版

(上海南京西路 2004 號)

上海市書刊出版業營業許可證出 093 號

上海市印刷三廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

開本 787×1092 1/16 印張 19 3/8 字數 395,000

1958 年 12 月第 1 版 1959 年 5 月第 1 版第 2 次印刷

印數 3,701—4,700

統一書號：15119·631

定 價：(十四) 2.70 元

第一版 序

在深入的考虑, 理論的探討及实际經驗的基础上, 通过了設計者与制造工場的共同合作, 終于使生产的內燃机, 經過一台試驗机器, 有时亦經過若干台机器, 在确定新的結構后得以問世。繼之而来的, 是在实际運轉中极为严格的尖銳考驗。尽管常常处于粗魯的運轉条件下, 以及往往加之以不当的維護, 发动机必須能与竞争者的产品相对抗; 它必須在規定的使用期限中可靠地運轉, 且只有在長期的運轉中显示出这样的經濟性, 它与当时的工业发展水准所要求的相符合时, 始能認為成功。

发动机的磨蝕現象是与保全費用极密切地关連着的。磨蝕意味着損失, 不仅为材料的, 且亦属所用劳动力与工作时间的損失, 就广义言, 也是国家財產的不可挽回的損失。对于整个的材料經濟以及对于每一从事于材料选择及材料加工者言, 探討磨蝕的成因及尽可能地抑制磨蝕, 是最迫切的課題。故本卷的第一部最为重要, 它研究內燃机中所观察到的磨蝕現象, 与它在整个国民經济中的重要性相适应, 这一部分是比較特別重視的。此处應該嘗試着將工程师們导引到对于他們多半是比較陌生的磨蝕区域中去。

創建費用、運轉費用与保全費用基本上影响到經濟性。就運轉費用言, 運轉材料的費用又属第一位。本卷第二部的目的, 應該对目前通行的发动机型式, 給出運轉材料消耗量的总的情况。并有可能对各种发动机的消耗量指数加以比較, 以及亦有可能估計新設計的指数。

由于战争的环境, 消耗量的数据不可能达到所期望的范疇, 因之, 在这一部分中, 显然地遺留着若干明显的空白点。

最后, 在本卷的第三部中, 簡單地指示出, 应如何来体会內燃机的經濟性。恰在这一部分, 由于目前尚未建立有符合于正規經濟生活的原則, 故无法以更詳尽的尺度来表达正規时代中在这一方面的意見与要求。因之, 此处只能处于若干原則性的指示上。

本人极乐意的对所有在本卷工作中給以支持的同志們致以謝意: 感謝李斯德教授先生在我的編写工作中屢次的給以鼓励与支持; 感謝 S. 拍歇业先生的大量合作, 主要在第二部中; 感謝許多的著作, 它們供給了丰富的試驗資料及图表; 最后并感謝出版者对于本卷理想的裝璜。

C. 恩格利許。

法蘭克福, 萊茵河畔, 1943 年 4 月

第二版 序

新版的修改范围,在于总结对发动机磨蚀奋斗所得到的经验,并加入较新发动机的消耗量数据;反之,某些过时型式的数据则予以删除——对于在完成这一部分给以支持的许多公司,谨在此处致以最高的谢意。

至于“经济性”的部分,目前的情况仍然是各方面都尚属如此的不明确,以致此处只能停留在基本的问题上。

我感谢李斯德教授先生在重新修改的工作中所给的支持,感谢出版者使新版得以实现,以及细致的出版工作。

C. 恩格利许。

朗格司威, 1952年2月

译者前言

就目前的内燃机制造工业言,求取使用期限的提高,并使所有磨蚀件争取有相同的使用期限,对于内燃机的经济性有很大的影响,故为从事内燃机设计与制造人士的主要奋斗目标。

内燃机全集中的本卷,单就这一方面作专题的研究,并搜集了极丰富的参考数据,对于有兴趣作研究的同志们,提供了极广泛的基础。

本书作为全集中的一卷,已能将目前有关内燃机著作中所遗留的空白点之一,予以填补。

内燃机全集原定的各卷,原书迄今尚未全部出版。希望通过译者们今后继续努力,使全集对我国的内燃机制造工业,有所帮助。

目 录

第一部 內燃机中的磨蝕

导 言

第一篇 磨蝕現象概論

第一章 “磨損”与“磨蝕”的意义	1
第二章 磨蝕种类	3
第一节 干滑动摩擦	5
(一) 規律	5
(二) 表面的变化: 磨合	5
(三) 表面上的载荷	6
(四) 表面加工的影响	8
第二节 有潤滑的滑动摩擦	8
第三节 干滚动摩擦	10
第四节 有潤滑的滚动摩擦	11
第五节 有潤滑的滑行面与污染的潤滑剂	12
第六节 摩擦氧化	15
第七节 冲击载荷下的磨蝕	17
第三章 不同材料間的磨蝕关系	17
第一节 鑄鉄与鑄鉄	18
第二节 鋼与鋼	24
(一) 碳素鋼、構造鋼与調質鋼	24
(二) 軟鋼(0.04碳)在淬硬的鉻鋼上的磨蝕	29
(三) 合金成分对磨蝕的影响	30
(四) 渗碳鋼	30
第三节 鑄鉄与鋼	32
第四节 輕金属的磨蝕关系	34
参考文献	35

第二篇 发动机构件的磨蝕

第一章 汽缸与活塞环	36
------------	----

第一节	汽缸中的磨蝕图	36
第二节	活塞环的磨蝕现象	38
第三节	磨蝕进展	41
第四节	磨蝕条件	42
	(一) 內在磨蝕条件	43
	(二) 外在磨蝕条件	55
第五节	减少汽缸磨蝕的措施	67
	(一) 定形	67
	(二) 材料	69
第六节	活塞环的表面处理, 汽缸的工作面处理	76
第七节	损坏汽缸的修复	77
第八节	汽缸套外表面的腐蝕	78
参考文献		80
第二章	活塞	80
第一节	活塞材料	81
	(一) 灰鑄铁	82
	(二) 特种鑄鋼	82
	(三) 輕金属合金	82
第二节	活塞合金的工作性能	88
第三节	造形、加工与磨蝕	89
	(一) 活塞裙部	89
	(二) 活塞环槽	90
	(三) 活塞銷孔与活塞銷	91
	(四) 活塞頂	92
第四节	活塞的表面处理 [6, 7]	92
	(一) 輕金属活塞的电解氧化	93
	(二) 活塞上加金属保护层	94
	(三) 非金属的保护层	94
参考文献		95
第三章	濾清器	95
第一节	空气濾清器	95
参考文献		101
第二节	液体濾清器	102
第四章	气閥、閥座与气閥导管	105
第一节	气閥	105
	(一) 閥頂材料	107
	(二) 气閥磨蝕现象与气閥故障	112
	(三) 定形与磨蝕	115
	(四) 气閥的腐蝕	115

(五) 气阀的人为冷却.....	116
(六) 气阀受磨蚀部分提高抗蚀能力.....	117
参考文献.....	118
第二节 阀座.....	118
参考文献.....	123
第三节 气阀导管.....	123
第五章 滑动轴承	125
第一节 磨蚀成因.....	130
第二节 轴承材料.....	132
(一) 巴氏合金轴承.....	135
(二) 锡轴承.....	141
(三) 铅青铜轴承.....	142
(四) 轻金属轴承.....	146
(五) 青铜轴承.....	149
(六) 铍轴承金属.....	151
(七) 黄铜轴承.....	152
(八) 铸铁轴承.....	152
(九) 烧结金属.....	152
(十) 人造树脂压制材料轴承.....	152
第三节 滑动轴承中的故障.....	153
参考文献.....	154
第六章 滚动轴承	155
参考文献.....	157
第七章 曲轴	157
参考文献.....	162
第八章 齿轮	162
参考文献.....	165
第九章 润滑油与磨蚀	165
参考文献.....	166

第二部 运转材料的消耗量

第一篇 燃料消耗量

第一章 引言	167
第二章 燃料消耗量的测定	167
第一节 概論.....	167
第二节 液体燃料消耗量的测定.....	174
(一) 测定重量.....	174
(二) 测定容积.....	176

(三) 直接測定單位時間中的消耗量	176
(四) 概述	177
第三节 气体燃料消耗量的測定	177
第四节 固体燃料消耗量的測定	179
第三章 机械效率与消耗量	179
第四章 运轉材料性質对于消耗量的影响	184
第五章 热平衡	185
第六章 燃料消耗量測定的实施与計算	185
第一节 固定式发动机	185
第二节 船用发动机	186
第三节 車用发动机	187
参考文献	190
第七章 实际发动机的消耗量数据	191
第一节 柴油发动机	193
(一) 动力車輛用高速柴油发动机	194
(二) 軌道車輛用高速柴油发动机	212
(三) 固定式发动机	217
(四) 船用柴油发动机	227
(五) 增压四冲程柴油发动机	232
(六) 曲軸箱祛气式二冲程柴油发动机	238
第二节 低压发动机	239
第三节 热罐式发动机	241
第四节 汽油发动机	243
(一) 液体燃料	243
(二) 煤气发动机	253
第五节 柴油-煤气运轉的发动机	261
(一) 动力車輛用发动机	262
(二) 固定式发动机	263
第六节 煤粉发动机	265
参考文献	266

第二篇 潤滑油消耗量

第一章 浸潜潤滑	267
第一节 具有下降油面的浸潜潤滑	267
第二节 具有不变油面的浸潜潤滑 (浸潜循环潤滑)	267
第二章 新鮮油潤滑	268
第三章 压力循环潤滑	268
第一节 具有湿式油池的压力循环潤滑	268

第二节 具有干式油池的压力循环润滑	268
第四章 混入润滑	269
第五章 润滑油消耗量的测定与实际发动机的润滑油消耗量	269
第三篇 冷却剂消耗量	
第一章 水冷却	274
第一节 新鲜水冷却	274
第二节 循环冷却	274
第三节 蒸发冷却	275
第二章 高温冷却	275
第三章 油冷却	275
第四章 空气冷却	275
参考文献	277

第三部 经济性

第一篇 概 論

第二篇 固定式装置与船用装置

第一节 固定費用	279
第二节 运转費用	280
(一) 操作与管理的費用	280
(二) 运转材料費用	280
(三) 保全費用	284
第三节 提高经济性的措施	286

第三篇 动力車輛

第一节 固定費用	288
第二节 經常費用	288
(一) 运转材料費用	289
(二) 輪胎費用	291
(三) 保全費用	292
第三节 经济性計算	294

第四篇 农业用拖拉机发动机及辅助发动机

参考文献	297
------------	-----

第五篇 結 論

第一部 內燃机中的磨蝕

导 言

內燃机的各个構件,均受到磨蝕。在有关部分所繼續不断产生的形狀变化,随着時間逐漸地愈来愈明显,終致它的作用发生障碍;因之,对于每一構件只能容許某一严格限定的磨蝕最高值,当超过此限值时,它的正規作用就將发生問題。

个别構件上的磨蝕进展情形,通常是以不同的速度进行。只要机器中某一單独的構件达到它所容許的最高磨損值时,必須在該机器上进行修复工作或換配工作。

每一次的修整及每一次的檢查都意味着該发动机的停止運轉;此外,它还消耗着拆卸的及裝配的费用,这就是多次的工具使用、輔助材料的损失,最后还占用着劳动力、工具及夾具。

由于磨蝕而經常不断地在总的經濟性方面所损失的价值是很巨大的。它不仅产生貴重材料与構件的损失,还有因檢查而必需的停止運轉时期,以及因之而引起生产量的降低。

因此,將內燃机所有構件的寿命,尽可能地予以提高,是值得努力的。此外,个别机件的寿命应彼此互相配合,使得所有的部分,差不多在相同的时候需要加以檢查。

这一要求到处都是适用的,且它是內燃机对于設計师、材料員、甚至是研究工作者提出的最急迫問題之一,要求获得共同一致的解答。

第一篇 磨蝕現象概論

第一章 “磨損”与“磨蝕”的意义

就工程上的意义言，磨蝕表示着机件表面上不可見的、逐漸的、且通常是有害的材料小块剝离現象，它由于任何一种的机械原因所引起，并終致机件不复可用[1]，[19]①。

这些有磨蝕性的力的作用，不仅由固体材料所引起，它也可由液体材料，或在两者同时的影响下产生。

由于純粹化学影响所产生的損害——磨蝕現象——，通常不作为“磨蝕”，但它与磨蝕同属于較广义的“磨損”。而磨損，仍就工程上的意义言，为物件由于使用或相似的情况所产生的，是对原有形狀或可用性的一种有害的、逐漸的变化[1]。

因为化学的影响往往有可能或能导引着机械的損害，故在下述的觀察中，必須將它同时帶及。

磨蝕的开始与其进展可以遵循着极不同的途徑。各种各样的磨蝕条件与磨蝕現象，伴随着多种对于这些过程有作用的影响，增加了对磨蝕情形作有系統解說的困难，且到今日为止，这一日常遇到的过程尚完全未予以研究。

要想在工件的抗磨蝕性方面与工件的优良值方面树立一彼此間的固定关系，虽然已經花了很多的努力，無論如何总不能給出抗磨蝕性的绝对优良值——例如采用材料参数的形式——。正如其他方面所发生的那样，它——至少就目前的知識水准而言——也是无从期望的。

一般說来，利用某一定的磨蝕装置所获得的磨蝕試驗結果，恒只适用于其他完全相似条件的情况；即使磨蝕条件有极微細的改变时，亦能导致完全相异的結果。

对于各种磨蝕过程，我人可以区别为

1. 磨蝕載荷的种类，它們的特征可确定于：

- a) 磨蝕件間相对运动的类型与傳力的方式；
- b) 由磨蝕表面所傳遞的力的大小；
- c) 磨蝕件間相对速度的大小；
- d) 相对速度的時間积分，亦即是在所觀察的時間內所經過的相当路程。

2. 內在磨蝕条件：

① 方括号内的数字，表示着各該章节之末所附参考文献的序号

- a) 磨蝕件的材料特性(金相組織、硬度、強度、韌性等等);
- b) 表面加工情況;
- c) 磨蝕件的形狀。

3. 外在磨蝕條件:

- a) 過程進行中所處大氣的種類;
- b) 溫度;
- c) 滑移表面間所存在介質的種類,特別是潤滑;
- d) 磨蝕表面間是否存在有其他固體的微粒;倘有存在時,則亦隨微粒的種類、數量與尺寸而異;
- e) 磨蝕件中附加的機械應力,特別是在表面層中的應力種類與大小。

第二章 磨蝕種類

按照磨蝕載荷的種類,可以區分為

A. 真正的磨蝕

1. 滑動摩擦時的磨蝕:

- a) 干的(例如進氣閥與排氣閥的閥杆);
- b) 有潤滑的,並分為:
 - 不完全的潤滑(例如汽缸與活塞環,活塞);
 - 完全的潤滑(軸承)。

2. 滾動摩擦時的磨蝕:

- a) 干的(例如用於操縱時的滾動);
- b) 有潤滑的(例如滾動軸承)。

3. 衝擊性載荷時的磨蝕(例如氣閥座)。

4. 座合磨蝕(在交變載荷下相接觸時的磨蝕,例如關節處的磨蝕現象;安裝不妥善的飛輪在輪殼座合處的磨蝕)。

5. 活動的固體磨琢劑所引起的磨蝕:

- a) 粒狀固體物質(砂、尘埃、灰渣);
- b) 流動液體中的固體磨琢劑;
- c) 流動氣體中的固體磨琢劑。

6. 流動液體所引起的磨蝕(例如旋轉式泵葉片上的汽穴磨蝕;由液體滴注而致的磨蝕)。

7. 在高速流動液體中,由於表面層毀蝕作用而引起的磨蝕。

8. 再加上下面所提的磨損。

B. 由腐蝕所引起的磨損:

- a) 由液體產生(例如海水冷卻的汽缸套,在外表面的故障);

b) 由气体产生(例如在排气閥处)。

各种各样的磨損过程,主要的总是表面过程——正如潤滑过程那样——;因之,它也总从这一观点来考虑,并給以评价。無論如何,只要有磨損現象发生的地方,該处因表面上有外力作用所引起的应力,必然超过了材料的强度——不論它是交变强度、剪切强度、或冷变形能力。

每一磨蝕过程均基于下列的一种或若干种的个别过程:

1.因表面上外力作用的结果,随着塑性变形产生因交变载荷而引起的外表面层疲劳現象,亦即是“表面疲劳現象”。由于此,导致表面上微粒的机械剝离,亦即使表面粗糙。

2.因表面层上的自由电荷,在表面层彼此相对滑行时的电磁作用而致;它只在表面层彼此相距极近,分子境界力能够有作用时发生,即使有优良潤滑的表面,例如在軸承中,亦將引起磨損現象,此时,表面將不复粗糙化,且在适当的材料时反而趋于光滑,改善了滑动性質。

3.最后,由于化学的及工艺的过程,在境界层上发生磨蝕。这些过程可以引起磨蝕,它們也可以有增速磨蝕或减少磨蝕的作用。特別在干摩擦与摩擦热不能充分发散时,境界层处可以达到很高的温度,因之增强了金属与气体間的反应速度,尤其是当接触点处于高压下时,亦有同样的情形。摩擦氧化現象亦属于此类。

磨蝕过程的开始与磨蝕进展决不能归納到同一的原因,在一系列的机件中,可以有基本上不同的过程。將構件的磨蝕载荷很清楚而肯定地归入上面所列举的磨蝕种类中的任一项,这是很难做到的:通常是由上述各种载荷种类中的两种,或甚至若干种互相混合而致。

两相对运动机件,在开始的时候,它用以承受力的表面,尚未处于最适合于傳力的情形;它多半需要先經過“磨合”,亦即使表面互相配合,然后始有可能持續地承受整个运转载荷——这一“磨合的磨蝕”,它与繼之而来的磨蝕进展不同,是一完全希望具有的过程。

由于磨蝕而引起故障的程度,可以是完全不同的,它随着磨蝕载荷,也随着內在的与外在的磨蝕条件而异。

在英文的語彙中,磨蝕的意义与德文中有所不同。比較輕微的磨蝕作用,当它产生使表面略現粗糙的结果时,称为“起毛”;較严重的磨蝕作用則称为“剝离”,它的特征是表面裂紋与表面剝离,但此时应尚未具有“咬合”的現象。——一旦出現可明显辨别的、即使是限于局部的表面物質溶合現象时,則称为“咬合”,在英文語彙中对于咬合又有某些区别,溶合是在个别的、互不关連的地点发生,或为断續的咬合;前者情况称为“断續溶合”过程,反之,真正的咬合則作为“咬合”。

表面起毛与表面剝离,当然是明显而比較强烈的磨蝕現象,它的起因是由于处于压力下两相似結構的金属表面互相摩擦,由分子境界力所发生。在开始产生断續的咬合前,通常可以观察到由于剝离而致的表面损坏。当这一現象不明显存在时,則我人稱磨蝕表面“粘合”。

由于表面起毛的單純表面故障，可以用各种方法来克服，例如常常采用的增加硬度；將潤滑油仔細地加以净化；增进表面光洁度；正确地選擇材料等等。——通常由于相对磨蝕件彼此相似的金属物理性質，將較之不正确选择的硬度与表面光洁度，更容易产生断續的咬合。

一旦在不相似的金属間，或在正常不易趋向于咬合的表面間发生断續咬合时，往往可以归納到局部咬合前若干前驅現象，如片狀脫落、小凹陷点的形成、落入其他物質或潤滑失效等。

此外，特別光滑的表面間，当它們以特別高的比压力互相紧压，致接近原子格柵力的范围附近时，亦將发生咬合，此时就变为压焊所用的过程，而它更因溫度的增高而更易完成。——在这些純粹光滑表面間的摩擦系数可高达 $\mu = 4$ ，而在一般的磨蝕过程中，它恒低于 $\mu = 1$ 。

在內燃机中，某一磨蝕种类恒随一定的情况而产生。恰如目前已經知道的，它們的本質、規律与合理性將在下面詳細叙述之。

第一节 干滑动摩擦

(一) 規律

因干摩擦而引起的磨蝕，一般可由下述各項确定：

1. 假定磨蝕載荷值不变时，磨蝕随經過的路程成比例地增加。
2. 在未发生咬合之前，于不变的速度与溫度时，磨蝕随相压压力的增加直綫上升——但亦有例外发现，將在以后个别材料的磨蝕关系时述及之。
3. 当溫度与相压压力保持等值时，速度的变化不能与磨蝕的程度成簡單的关系。
4. 摩擦系数与磨蝕之間，迄今尚无法决定出肯定的、一般可用的关系。

(二) 表面的变化：磨合

由于摩擦而致的磨蝕过程，通常可以完全以肉眼观察到，它就是相对滑动表面上的高起处与凹陷处彼此犬牙交錯，且高起处被部分地冷变形及压挤掉，部分地被剪切掉。——这一过程，約略可以想象着如同銼刀銼平表面那样（“銼蝕”）。

这說明只属一部分的磨蝕現象。虽然干摩擦亦恒伴随着滑动表面的金相变形，但較新的試驗証实了，除此之外，在磨蝕过程中互相接触表面的物質間，分子力亦頗属重要，它与固体中分子間作用的力相同，而后者对外的表現即为其强度[2]。

物件相对滑动时所产生的摩擦功均轉变为热量；故在磨蝕表面处达到某一平均溫度，其值与所耗費的摩擦功、与幅射发散的情况、并与热傳导的情况有关。在若干局部地方，其溫度可以与此平均值大相逕庭。图1及2例示靠近磨蝕件表面处实际測定的溫度，这是可以肯定的，在个别貼近表面的地位，將达到远較此为高的溫度；由于溫度的影响，各該

点上將发生材料的金相組織改变, 特別导致物理的强度值有很大的变异。

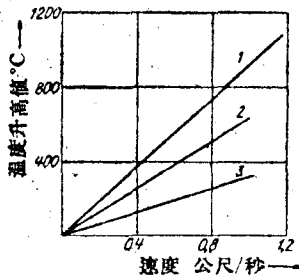


圖1 康司坦坦在軟鋼上滑动时的表面温度(取自 BOWDEN 及 RIDLER [3].)
載重 102克
开始温度 17°C
1无潤滑剂
2一般市場購買的潤滑剂
3用油酸潤滑
温度是利用相互滑动的金属作为热电偶的两股而测得

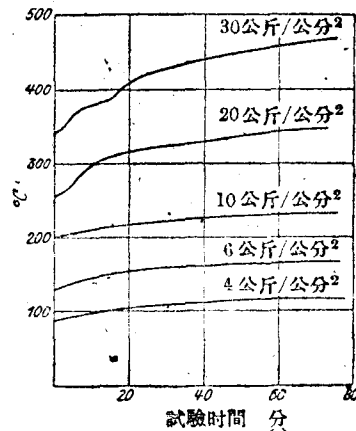


圖2 不同的表面压力时, 含碳量 0.26 的鋼在磨蝕层中的温度. 滑动速度 1 公尺/秒(取自 DIES [8]). 將原图极度地予以简化

与表面物質的热力載荷及机械載荷同时, 尚可发生化学的反应。

这过程大約如下: 貯存在空气中时, 光洁的金属件上將被复有气体的、潮湿的或油脂的薄层(“最外面的”境界层)。——倘局部的力超过与各該材料有关的一定限值时, 则在摩擦过程中將有若干最小的微粒自一面或两面的磨蝕件中落下。它們或者作为磨蝕产物而被除去, 或者积聚在磨蝕件的小凹陷处或小孔中, 且即在該处受到輾轧。因此, 境界层微粒与基体材料間, 磨蝕产物及周圍的介質間有极密切的接触。吸着有气体的及液体的一层, 当它一旦被摩擦掉之后, 立即迅速从新生成, 故可作为外面的磨蝕层上有化学的变化。

当干摩擦及摩擦热不能立刻充分发散时, 境界层中的化学-工艺变化亦为产生磨蝕的原因, 因为在境界层所处的高温时, 金属对于氧气、氮气及其他气体的溶解度以及反应能力均随之而剧升。

磨蝕过程进行时的环境空气, 亦具有极重要的关系。此时, 不但在磨蝕过程进行中得以进入相对磨蝕面間的气体能产生影响, 且被磨蝕件所吸着的那一类气体, 將更剧烈地影响到磨蝕过程, 并使磨蝕件早期地失去作用。就吸着作用言, 因磨蝕过程所改变的表面层, 將較之金相組織未改变的有所不同。例如发动机燃燒时所产生的燃燒产物, 它对于直接作用下的那些机件的磨蝕, 將有特別强烈的影响。

由于塑性变形, 由于时效作用、重結晶与金相轉变, 随着不同的材料在表面上发生变异, 此外, 在若干材料的表面上被复着氧化层、氮化层、或其他化合物时, 它們阻止了两表面的直接金属接触, 并因之强烈增加咬合傾向, 但亦能大大地降低咬合傾向。

(三) 表面上的載荷

例如正規的構造鋼, 即使仅达它拉伸强度 1/100 的平均表面压力时, 已經显露着强烈

的磨蝕現象，這一情況粗粗看來，是頗令人不解的。實際上，尽管是极其完善的加工，在磨蝕過程開始時，只有少數表面上特別凸起的點產生直接的接觸，並支承着全部的力，而表面粗糙值的大小，例如在鋼鑽車削的表面尚有 $1.5 \sim 2\mu$ ，打磨的表面則為 $0.1 \sim 0.05\mu$ 。

關於兩磨蝕件在接觸面上所產生的載荷強度，可由下列說明獲得大概印象：

在實際存在的小接觸表面上，摩擦力可以有不同的分布情況，例如图 3 所示的若干情況，隨着不同的分布，在表面上實際發生作用的力亦復不同。隨着摩擦力 R 在壓力面上分布的假定：例如按照拋物綫的；按照橢圓的；或按照長方形的，可以由 EICHINGER

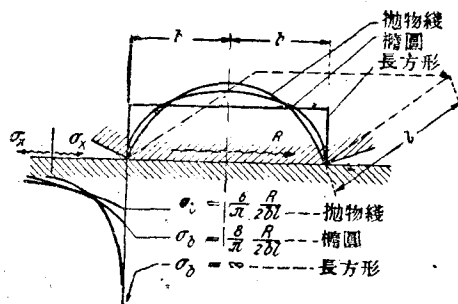


图 3 接觸面上摩擦力不同分布時的邊緣应力
(取自 EICHINGER [9])

[9] 用图 3 的符号，求取在表面上 ($z=0$) 于摩擦面之外，以及主要是在压力面边缘 ($x=b$) 上的主应力 σ_x ：

假定为拋物綫時，

$$\sigma_x = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{R}{2bl} \left[2 \frac{x}{b} + \left(1 - \frac{x^2}{b^2} \right) \cdot \ln \frac{x+b}{x-b} \right] \text{ 及 } \sigma_y = \frac{6}{\pi} \cdot \frac{R}{2bl}$$

假定为橢圓形時，

$$\sigma_x = \frac{8}{\pi} \cdot \frac{R}{2bl} \left[\frac{x}{b} - \sqrt{\frac{x^2}{b^2} - 1} \right] \text{ 及 } \sigma_y = \frac{8}{\pi} \cdot \frac{R}{2bl}$$

假定为長方形時，

$$\sigma_x = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{R}{2bl} \ln \frac{x+b}{x-b} \text{ 及 } \sigma_y = \infty$$

且在所假定的 R 力方向，在各种情形時，在压力面之左作為拉伸載荷，而在它之右作為壓縮載荷。

在后者的情形時，压力面边缘上的主应力為無窮大。從所給的計算結果可知，倘若摩擦力是如此地分布，使它的大小在压力面的边缘上 ($x=\pm b$) 為突然的變化時，即使是很小的摩擦力，也能在表面上產生很高的拉伸與壓縮載荷。

正如屢次的觀察所証實，由於磨蝕過程所陸續形成的表面層，其特征全賴其特殊的物理性質而定。金屬的拋光表面上或相似的在已經磨合完成的两相對滑動的機件間，BEILBY [4] 假定它存在有一兩向度的、似液體的表面層：當金屬在機械加工時，特別是在表面的拋光時，表面層的金屬發生兩向度的溶化，由於熱量將自此層中強烈地被帶去，它迅即重行凝固，但原子已不復可能重行回入結晶格柵中，故生成一非結晶的、無定形的表面層，所謂“Beilby”層。照 BEILBY 的說法，這一層的特征是比其餘的表面有較高硬度與較大自由能量，因為在其餘的表面中，原子是有規律地編排在結晶格柵中。——因為在機件的運動時，液狀的金屬層幾乎很均勻地分布在整個受載荷的表面上，故最初為很粗糙的表面，在磨合時由於 Beilby 層的形成而趨於光滑。這樣一來，原來支承在少數幾點

上的載荷,就能分布于表面的較大部分,这一点对于潤滑层的稳定性說来,亦是很重要的。

比較新穎的看法 [5] 仍趋向于——除去似液体 Beilby 层的假設——机械的磨合理論: 原始表面上粗糙度的减少,是由于表面上結晶的磨落与同时的变形产生光滑化的作用,并增加表面硬度。抛光所引起在电子繞射图中的現象,这一現象是 Beilby 层理論的一部分根据,也可以单独用粗糙度的减少与变形來說明。

因此可以肯定,例如在金属合金的抛光时,只有那些相当于較低表面張力的組成部分积集在表面上。这当然必須先行假定个别的分子或原子有很大的活动性,如它在固态时只在很高温度时始能想象那样;因为只有这样,方有可能在此过程所拥有的短時間內,趋于新的平衡状态。

按照 BOAS 及 SCHMID [6],在表面磨光并繼以抛光之后,在X光照片中可以看出它具有两不同的层次:在上面的第一层是細粒的,有时并可发现有重結晶;在它下面所形成的一层是很强烈地被冷变形,它即作为与未被扰乱基体結晶的过渡层。

(四) 表面加工的影响

很明显的,表面的加工亦对于磨蝕有很大的影响。MÖLLER 与 ROTH [7] 利用X光照片观察鋼在有屑加工时,得到下述的一些:

靠近被加工的表面,显现着綫形进展的极度顆粒細化現象,或綫形进展的严重內应力存在現象。变形的剧烈程度与加工的程度有关:后者随着下列的次序递减,变形深度的影响亦呈相仿变化,如对于退火鋼 34.11 所給的数字所示的:

粗車削加工	变形深度 0.35 公厘
細車削加工	变形深度 0.10 公厘
磨削加工	变形深度 0.10 公厘
抛光加工	变形深度 0.25 公厘
研磨加工	变形深度 0.10 公厘

加工工具的材料也具有影响;鋼、硬質金属刃口与金剛鋸的切削作用彼此极其不同。一般說来,在較低的切削速度时,它的变形將較之高切削速度时为深。

很明显的,这一由于加工而来的重要影响,將永恒地影响到磨蝕关系,影响到表面上实际存在的潤滑过程,并影响到各种类型的腐蝕現象。

第二节 有潤滑的滑动摩擦

倘在两相对滑动表面之間給以潤滑剂,并在表面的各处均經常保持着不間断的潤滑油膜时,只要潤滑油膜的厚度大于相对滑动表面上的不平值,实际上可以根本不发生任何的磨蝕;这一情形称为液狀摩擦或完全的潤滑。

在这一情况中,材料的抗磨蝕性就完全不复重要;材料只要能够經常保持着承受产生