

磨削表面变质层

李次公

国家机械工业委员会
洛阳轴承研究所

编者的话

在轴承的寿命试验与实际使用中，往往出现这样一种奇特的现象：尽管产品结构、尺寸精度与旋转精度、表面光洁度、硬度及材质均基本接近，而一批轴承的寿命却远比另一批高，甚至前者的“貌不惊人”，其质量依然甚佳。单把主要责任委卸于使用不当，是不尽合理的。因为一个产品质量的好坏，系由多种因素决定的。即使上述各项条件完全一致，质量上的明显差异仍然存在。我们并不因此否定既往在结构设计、材料与工艺加工方面所取得的业绩，但面

对“寿命低”的这一现实，有必要深入挖掘“潜在”因素，从中找出相应措施，以确保产品的可靠性。

实践证明，没有合格的表面质量，就不会有滚动轴承较长的使用寿命。在各种加工变质层中，磨削变质层对轴承寿命影响较为突出，因为磨削加工是轴承加工的一道关键工序，尽管其后面跟随有超精研之类工序，但后者的切削量甚微，难以消除磨加工所遗留下来的缺陷。

磨削变质层的研究不仅对于轴承工业，而且对于许多精密零件的加工，具有普遍的意义。磨削烧伤属于磨削变质层研究的范畴，用肉眼往往难以发现。

解决“烧伤”的问题，对于提高产品寿命有着重要意义。国内外大量试验证明，即使选用双真空钢（真空感应+真空自极电耗钢），由于磨削工艺不当，其零件的烧伤黑斑与麻点出现率，甚至仍会偏高于一般轴承钢。用不同温度进行回火后，零件超精研表面上出现的烧伤黑斑与麻点，在 250°C 温度下回火的，甚至少于 150°C 回火者。

上述情况足以说明，超精研表面层的质量，并不完全取决于材质和热处理，而往往决定于磨削工序。磨加工时产生的高温造成局部温升，使表面形成不均一的组织和硬度，从而使轴承寿命大幅度下降。

在现实生产中，人们触及高速磨削，必然联系到磨削烧伤，这已成为应用高速磨削的难题。但是，只要认真分析表面变质层形成机理，采取合理的磨削工艺条件，提高磨削速度，使现有生产率，在保证质量前提下提高一倍，并不是空中楼阁，国外的生产与试验均早已证实了这一点。

国外对磨削变质层的研究，虽然由来已久，而且国内也作过一些工作，但还没有在实际生产中引起我国轴承工业有关人员的高度重视。本文综述国内外在这一领域中已取得的成果，其目的在于借鉴他人经验，为己所用，以在本行业中开展各项工艺试验，修订新的工艺

规程，改进表面层质量，减少或避免磨削烧伤，使高速磨削能够尽早地应用到实际生产中去，以获取优质高效产品。尽管文章篇幅有限，问题罗列不全，不一定能完全达到目的，但愿本文能起到一个抛砖引玉的作用。

在编写本综述报告时，有意识地引用了国外某些不同的学术观点，以期广开思路，使研究与应用工作向纵深方向进一步发展。

本书由副译审李次公同志编译。

文章涉及的专业范围广泛，承蒙高级工程师徐培孝、高级工程师钟兆麟、高级工程师李明震，工程师景国荣，黄丽铨和高级工程师赵传国等专家审阅，

提出了许多宝贵意见和建议、深表谢忱。

编 者

一九八七年十一月于洛阳

序 言

在提高我国轴承工业产品质量工作中，如何采取有效措施尽快提高轴承的使用寿命，以缩短国产轴承与国外名牌产品的差距，满足各类主机配套和维修的需要，是当前急待解决的重要问题，磨削表面变质层的研究就是为提高轴承寿命而开展的关键性课题之一，受到了国外轴承行业的重视，并进行了相当多的工作，而国内对此只作过一些试验，目前尚缺乏这方面的综合性专论。

本文属于综述报告。作者引叙了丰富的文献资料，详细阐述了磨削表面变质层的形成机理及其对轴承寿命的影响。

响，系统分析了磨削工艺诸因素与磨削表面变质层的关系，全面介绍了磨削表面变质层的评定和测试方法，最后得出了结论，并提出了相应建议，对我国轴承工业在轴承生产实践中如何改进磨削工艺，加强质量控制，提高产品质量具有重要的参考价值。磨削表面变质层的研究不仅对轴承工业，而且对其它精密零件的加工也具有普遍意义。因此，本文也可供其它精密加工行业作为参考。

徐培孝

1987年5月

目 录

序言

一、磨削变质层及其形成机理

..... (1)

(一) 晶粒度..... (2)

(二) 显微组织与硬度..... (4)

(三) 残余应力..... (9)

二、表面变质层对轴承寿命的

影响..... (15)

(一) 滚动轴承零件的磨损形式

..... (15)

(二) 质变因素与轴承寿命的

关系..... (17)

1、残余应力与寿命..... (17)

2、硬度与寿命…………… (21)

3、组织与寿命…………… (23)

三、磨削条件对表面层质量的

影响…………… (28)

(一) 磨削温度…………… (28)

(二) 砂轮与工件的速比…………… (36)

(三) 工件的冷却与润滑…………… (48)

1、磨削液的种类及其

主要成分…………… (49)

2、磨削液的作用…………… (51)

3、磨削液与加工变质层的

关系…………… (54)

4、磨削液的供给与烧伤

…………… (65)

5、磨削液的流量与压力对

烧伤的影响…………… (67)

6、工艺杂质含量对磨削	
烧伤的影响·····	(68)
(四) 砂轮·····	(71)
1、磨料与烧伤·····	(72)
2、结合强度与烧伤·····	(74)
3、粒度与烧伤·····	(76)
4、组织与烧伤·····	(76)
5、结合剂与烧伤·····	(78)
6、砂轮修整与烧伤·····	(79)
7、砂轮结构形式与烧伤	
·····	(80)
(五) 切入量·····	(85)
1、切入量对硬度的影响	(85)
2、切入量对残余应力的	
影响·····	(87)
四、磨削烧伤及其定量评价···	(90)

(一) 磨削表面的峰值温度…	(91)
(二) 磨削烧伤与高温氧化的 关系……………	(92)
(三) 磨削烧伤的评价手段…	(97)
1、磨削烧伤的临界常数 ……………	(97)
2、表面显微硬度下降率 ……………	(98)
3、反射率……………	(101)
(四) 目前酸洗检查中存在的 问题……………	(106)
五、表面变质层的测试方法…	(111)
(一) 显微硬度评定法……………	(112)
1、测试原理……………	(112)
(1) 维氏显微硬度测试法 ……………	(113)

(2) 努普硬度测试法·····	(113)
2、测试误差产生的原因	
·····	(114)
(1) 硬度计的影响·····	(115)
(2) 试件的影响·····	(115)
(3) 操作的影响·····	(115)
(4) 试验环境的影响·····	(116)
3、显微硬度测试法的应用	
·····	(116)
(1) 显微硬度对轴承寿命	
的影响·····	(117)
(2) 磨削工艺对显微硬度	
的影响·····	(118)
(二) X射线分析法·····	(120)
1、X射线的测定原理·····	(120)
(1) 物相分析·····	(121)

(2) 应力测定·····	(122)
(3) 固溶体分析·····	(123)
(4) 晶体大小的测定···	(123)
(5) 晶粒取向的测定···	(123)
2、工件沿层深的残余应力	
测定·····	(123)
(三) 金相组织分析法·····	(127)
1、光镜分析·····	(128)
2、电镜分析·····	(136)
六、结论·····	(137)
七、关于改善磨削质量与提高	
产品寿命的五点建议·····	(140)
八、参考文献·····	(142)

一、磨削变质层及其形成机理

变质层一般分为两大类，即：加工变质层与磨损变质层。

一般来说，机械加工后，在金属表面所产生的变质部分，其物理、化学及机械性能与其基体不同，统称为加工变质层。由磨削引起的，叫做磨削变质层。磨损变质层的说法，是小坂诚市郎博士经过磨损试验研究后首先命名的^[1]。因为它属于应用学科范畴，本文不拟赘述。

很早以前，许多学者就致力于固体表面的研究，大致归纳为以下几个方面：

1. 研究磨削变质层的形成机理；
2. 寻求磨削变质层的分析方法；
3. 分析磨削变质层与加工条件的关系；
4. 澄清磨削变质层对零件寿命的影响。

最初提出固体磨削表面组织与基体不同的，是Beilby。他远在1920年就发表了一篇题目为：“Aggregation and Flow of solid”的文章，阐述了自己的论点，认为：“固体磨削时，表面的分子产生流动。磨削后分子流冷凝，形成一层很薄的非晶态不规则组织，称为Beilby层”。^[2]这一理论，迄今仍为各国学者承认与沿用。

日本中岛利胜将磨削表面变质层归结为两大类，即：

1. 化合物变质层；
2. 金属组织变质层^[3]。前者由于气

体及冷却液附着和氧化，以及油脂与表面化合而成，有可能被以后的抛光或超精研所除去，所以影响较小。后者包括残余应力、晶格变化，微观裂纹，加工硬化与软化等机械变质层。其中最重要的是组织变化、硬度分布与残余应力，而应力的符号与分布对零件的寿命影响尤为显著。下面分别加以阐述。

(一) 晶粒度

表面层的晶粒在磨加工的压力作用下破碎，其碎化程度由表及里递减，直到某一深度为止。表层下的基体为均匀的结晶结构。表面晶粒碎化模型示于图 1^[4]。晶粒和显微组织变化及其距表面的深度，因加工方法不同而异。J. WUIF

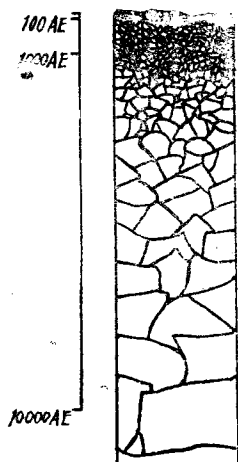


图 1 加工表面晶粒碎化层模型

用不同的方法，加工 18—8 不锈钢试样，以电子衍射法进行测试，并将各该表面层的晶粒组织示于图 2^[5]。由图中可以看出，用乾磨方法加工时，最外表面部分产生氧化层，约距表面 3000° Å。由表及里，形成碎化形变奥氏体层→形变奥氏体与冷作硬化铁素体混合层→冷作硬化铁素体层→冷作硬化铁素体与粗大奥氏体