

浅谈光学镜片亚表面损伤形成数值模拟与分析

徐周, 洪金木

深圳菲比特光电科技有限公司 广东深圳

【摘要】在光学镜片的研磨加工过程中, 所产生的错位、微断裂等亚表面损伤, 会削弱光学镜片的强度, 影响其长期稳定性, 从而降低光学镜片的最终质量。因此为提高光学镜片加工质量与效率, 满足日益增长的光学镜片市场需求; 在抛光过程中, 必须寻求有效方法, 去除加工中产生的亚表面损伤。在现阶段的光学镜片亚损伤仿真研究中, 仿真建模作为其研究过程中的重要组成部分, 对于亚表面损伤的形成能够进行更加细致的模拟分析, 从而最大程度上减少仿真结果与实际工程的误差, 有助于将实验与理论相结合, 指导光学镜片的研磨加工。本文就光学镜片亚表面损伤的形成进行数值模拟与分析探究, 为相关技术研究提供参考。

【关键词】光学镜片; 亚表面损伤, 数值模拟

On Numerical Simulation and Analysis of Subsurface Injury Formation of Optical Lens

Zhou Xu, Jinmu Hong

Shenzhen Forbest Photoelectric Technology co.,LTD., Shenzhen, Guangdong

【Abstract】In the grinding process of the optical lens, the subsurface damage such as dislocation and microfracture will weaken the strength of the optical lens, affect its long-term stability, and thus reduce the final quality of the optical lens. Therefore, in order to improve the processing quality and efficiency of optical lenses and meet the growing market demand of optical lenses, effective methods must be sought to remove the subsurface damage. In the present stage of the optical lens subdamage simulation research, simulation modeling as an important part of the research process, for the formation of subsurface damage can be more detailed simulation analysis, to minimize the simulation results and actual engineering error, help to combine experiment and theory, guide the grinding of optical lens processing. This paper conducts numerical simulation and analysis of subsurface damage of optical lens to provide reference for related techniques.

【Keywords】optical lens; sub-surface damage, numerical simulation

前言

随着我国现代化经济发展进程不断加快, 在光学科技领域内, 相关技术研究不断深入, 光学镜片的运用范围也日益广泛, 这同时对光学镜片的表面质量也提出更高要求。光学镜片作为一种光学硬脆材料, 相较于其他普通材料, 在硬度与脆性方面具有较大优势。但在加工过程中, 难以避免的亚表面损伤, 在一定程度上, 将直接影响光学镜片的质量, 无法满足其实际的应用需要。因而在这种情况下, 对于光学镜片研磨加工中的亚表面损伤的研究, 显得尤为重要。

1 光学镜片亚表面损伤机理及影响因素

在光学镜片的实际加工过程中, 磨削与研磨都会造成光学镜片的亚表面损伤。如图 2 所示, 在光学镜片的机械加工过程中, 工件在磨粒的压力作用下会发生脆塑转变, 形成塑性形变。并且随着压力的不断增大, 微裂纹、中裂纹也会逐渐产生; 而当磨粒载荷逐渐减弱时, 横向裂纹在微裂纹的扩展合并之下形成。^[1]研磨加工作为中间工序, 与磨削、抛光联系紧密, 在光学镜片的亚表面损伤形成中也具有重要意义。其具体体现在, 研磨加工材料在磨削过程中, 能够去除引入的亚表面损伤, 且去除的效率较高; 但在研磨过程中, 亚表面损伤仍然会有所残留, 从而对光学镜

片的质量造成影响, 并且有可能干扰下一工序的正常运作。就其影响因素而言, 在磨削的过程中, 由于磨粒的形状、黏附情况以及黏附方式具有多样性, 因此在实际加工中, 磨粒所展现出的磨削能力也会具有差异性。^[2]另外, 如图 1 所示, 磨粒再与光学镜片表面的接触过程中, 接触状态具有随机性, 分别为点、线、面三种。在不同接触状态下, 磨粒对光学镜片亚表面损伤的影响也会有所不同。

2 光学镜片亚表面损伤形成数值模拟

2.1 亚表面损伤模拟

光学镜片亚表面损伤形成是一个动态变化的过程, 因而本文为反映整个过程的动态变化状态, 将其分为磨粒与光镜表面接触前、接触后、离开原接触表面三个阶段。通过探究磨粒在这三个阶段过程中的具体状态, 以及对亚表面损伤所造成的影响, 以此对亚表面损伤有更加深入的理解。磨砺与光镜接触之前, 二者处于未接触状态, 此时磨砺受到压力向下, 并开始向水平方向运动, 镜面没有受到破坏, 保持原样。随着压力增大, 磨料载荷增加, 此时磨粒与光镜表面开始接触, 压入工件的深度也逐渐加大。^[3]进入接触阶段; 刚开始接触时, 可以明显发现, 接触的局部材料直接被去除, 其主要原因在于刚开始接触时瞬时应

力较大, 光镜表面变形, 从而产生之后一系列的变化。随着接触的继续, 磨粒的挤压作用逐渐显现, 光镜表面的去除量进一步增加。此时, 非弹性变形区随着磨粒与镜面的接触, 产生不可逆变形, 材料在对磨粒不断施加压力下, 逐渐发生偏移。同时, 由于弹性变形区与非弹性变形区的变形差异, 残余应力不断积累, 当其超过光学材料的极限时, 缺陷的稳定性遭到破坏, 最终产生亚表面中位裂纹。与此同时, 因为磨粒的滑动速度较快, 所以该过程后, 磨粒很快便离开接触区, 从而逐渐进入第三阶段。如图 3 所示, 此时原接触区不再受到挤压, 光镜表面经磨粒形成的“凹坑”基本定型, 亚表面裂纹也随之出现。随着磨料载荷的减少以及过程的持续推进, 裂纹逐渐向四周扩展, 并且伴随应力的减少, 扩展速度也逐渐变缓, 直至停止。在此过程中, 相对比弹性变形区, 无论是区内还是侧向, 非弹性变形区材料流动都明显减少, 变形也处于停止状态。二者所处的不同状态造成光学材料弹性变形区受拉力作用影响, 且当拉力达到材料极限时, 最终导致横向裂纹的产生。而且通常情况下, 随着磨粒逐渐卸载, 横向裂纹扩展到一定程度时, 材料也会随之碎裂脱落。

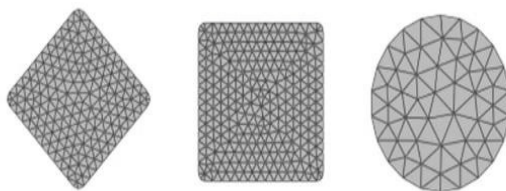


图 1 点、线、面三种接触模型

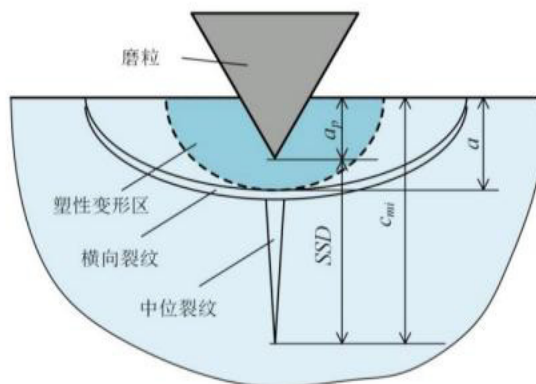


图 2 亚表面损伤示意图

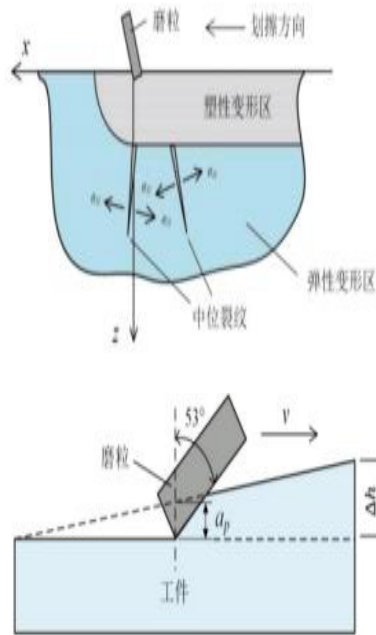


图3 磨粒与光学镜片接触后

2.2 亚表面损伤分析

通过对光学镜片亚损伤进行模拟, 对于其产生的过程有了进一步的认识, 但在实际过程中, 相较于理想状态下的实验模拟, 还存在一些不确定因素, 同样会对光学镜片的亚损伤形成造成影响。以不同磨料研磨后的亚表面损伤深度为例, 研磨过程中, 通过数据比对后发现, 固结磨料在研磨后所产生的亚表面损伤深度, 远低于相同条件下的游离磨料。造成该现象的主要原因在于二者研磨时的材料不同, 因为材料不同, 对材料的去除所展现出的效果自然会有所差异。该种现象在材料的去除率、表面粗糙程度、等方面亦有所体现。另外, 磨粒粒径对于固结磨料与游离磨料的材料去除率以及亚表面损伤深度等方面也有较大影响, 这也将间接影响光学镜片的亚表面损伤形成。综上, 实际的光学镜片亚损伤形成比理想状态下更加复杂, 研磨方式、磨粒状态等方面都能对其产生影响, 而且在这些影响因素之间同样存在关联, 联系紧密。随着对这些材料去除率、表面粗糙程度等因素的深入研究, 光学镜片亚表面损伤理论研究将进一步得到深化拓展; 该方面的突破, 也能为将来重大光学工程的顺利实施提供保障。

3 光学镜片亚表面损伤对策及参数研究

3.1 研磨加工参数

在研磨过程中, 保证光学镜片的加工效率与质量, 要兼顾材料去除率与亚表面损伤, 做到既保证材料去除效率, 又能实现对光学镜片亚表面损伤的有效控制, 从而确保后续工序的正常开展。另外, 就现阶段的重重大光学系统发展而言, 亚表面损伤问题的解决是其发展的关键, 而加工过程参数的优化, 一定程度能够推动相关技术的发展, 促进亚表面损伤问题的解决。同时为提高光学镜片加工效率奠定基础, 进一步保障我国重大光学系统的健康发展。^[4]在此需求下, 必须对研磨加工过程中的参数提出更高要求。在光学镜片亚表面损伤相关参数的研究过程中, 就在吸收前人研究经验的基础上, 由加工的速度、磨粒锐度角对亚表面裂纹深度、体积去除率的影响, 通过模型建立与分析, 拓展了研磨加工参数的实际应用, 提高研磨加工效率。这在一定程度上体现出参数对于提高光学镜片加工效率的重大意义。此外, 通过分析对比不同磨粒粒径下, 磨料研磨后的光学镜片亚表面损伤裂纹深度, 结合多种方法能够出镜片的应力层深度。因此在实际的应用过程中, 可根据实际需要对相关参数进行灵活应用, 采用不同的测量方法与计算方法, 以提高实际测量效果。

3.2 针对光学镜片亚表面损伤的对策

目前, 对光学镜片亚表面损伤的研究, 主要集中

于加工过程、加工工艺参数等方面,但其根本目的在于寻求有效途径,以此有效控制亚表面损伤或减少光学镜片的亚表面损伤,以达到实际应用需求。在此背景下,实现亚表面损伤快速测量,或者在研磨加工过程中,对引入的亚表面损伤深度直接进行预测,并能保证其预测的准确性,是控制亚表面损伤的前提,也是实现提高光学镜片加工效率目的的基础。对于亚表面损伤测量,国外起步较早,且经过较长时间发展,相关技术发展趋于成熟,目前的应用范围也较为广泛。相较之下,我国在该研究领域的发展虽然处于劣势,但随着发展速度加快,这一定程度上能够弥补我国在该领域的不足,满足现今社会发展需要。此外,相较于破坏性检测技术,非破坏性检测技术在亚表面损伤的检测方面,应用范围更加广泛。^[5]其主要原因在于破坏性测试方法会破坏光学零件,性价比不高;而非破坏性测试方法虽然应用广泛,但同样具有局限性,相较于破坏性测试方法,其测量精度、测试成本等方面存在不足。随着数字化技术的发展,激光扫描层析、激光散射法等检测技术在光学镜片亚表面损伤方面的应用将会更加广泛,但在现今阶段,通过建立亚表面损伤与光学镜片表面粗糙度的联系,从而由表面粗糙度来实现对亚表面损伤的快速预测,可在拓展亚表面损伤预测新途径的同时,满足实际需要。

4 结语

随着社会的发展,光学材料的应用范围日益广泛,光学镜片在各领域所发挥的作用也越来越重要。但就现阶段的光学材料加工而言,其加工过程中产生的亚表面损伤依然是制约其发展的瓶颈。为进一步减少甚至

消除亚表面损伤,首先需要在精确测量、精准预测方面有所突破,因而在后续的研究过程中,可以对二者进行更加深入的研究,以期实现对光学镜片亚表面损伤问题的新突破。

参考文献

- [1] 李改灵.光学材料磨削加工亚表面损伤测量的理论与实验研究[D].长沙:国防科技大学,2006.
- [2] 朱永伟等.光学硬脆材料固结磨料研磨中的亚表面损伤预测."光学精密工程"第25卷.2(2017):367-374.
- [3] 任志英等.光学镜片亚表面损伤形成数值模拟与分析."中国机械工程"第27卷.19(2016):2675-2681.
- [4] 高平.光学玻璃研磨加工后亚表面损伤研究[D].南京:南京航空航天大学,2012.
- [5] 卢剑波1等.不同接触下镜片亚表面损伤形成数值模拟."福州大学学报(自然科学版)"第46卷.2(2018):234-241.

收稿日期:2022年9月14日

出刊日期:2022年10月27日

引用本文:徐周,洪金木,浅谈光学镜片亚表面损伤形成数值模拟与分析[J],科学发展研究,2022,2(5):103-106

DOI: 10.12208/j.sdr.20220167

检索信息:RCCSE权威核心学术期刊数据库、中国知网(CNKI Scholar)、万方数据(WANFANG DATA)、Google Scholar等数据库收录期刊

版权声明:©2022作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS