北京林业大学学报
JOURNAL OF BEIJING FORESTRY UNIVERSITY

定组态砂带粒度对刨花板磨削的影响

罗斌 杜瑶 柳浩雨 王钦悦 李春瑜 李黎 刘红光

Influence of micro-grit size of precision-shaped abrasive belt on particleboard sanding

Luo Bin, Du Yao, Liu Haoyu, Wang Qinyue, Li Chunyu, Li Li, Liu Hongguang

引用本文:
罗斌, 杜瑶, 柳浩雨, 王钦悦, 李春瑜, 李黎, 刘红光. 定组态砂带粒度对刨花板磨削的影响[J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(9):141-150. doi: 10.12171/j.1000-1522.20240124
Luo Bin, Du Yao, Liu Haoyu, Wang Qinyue, Li Chunyu, Li Li, Liu Hongguang. Influence of micro-grit size of precision-shaped abrasive belt on particleboard sanding[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(9):141-150. doi: 10.12171/j.1000-1522.20240124

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20240124

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

水曲柳磨削的砂带磨损机理研究

Abrasive belt wear mechanism of sanding Manchurian ash

北京林业大学学报, 2019, 41(8): 138-146. https://doi.org/10.13332/j.1000-1522.20190136

中密度纤维板磨削时的砂带磨损研究及寿命评判

Research on abrasive belt wear and working life evaluation during sanding medium density fiberboard

北京林业大学学报, 2021, 43(10): 126-134. https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20210192

砂光处理对芦苇刨花板粉末涂饰性能的影响

Preliminary study of epoxy/polyester powder coating applied to reed-based particle board

北京林业大学学报, 2022, 44(9): 137-145. https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20220211

基于单磨粒的中密度纤维板磨削特性比较研究

Comparative study on grinding characteristics of medium density fiberboard based on single grit

北京林业大学学报, 2021, 43(8): 98-106. https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20210182

3种边界条件下足尺定向刨花板的模态灵敏度和振动模态研究

Modal sensitivity and vibration mode of full-size oriented strand board panel under three boundary conditions

北京林业大学学报, 2021, 43(12): 105-115. https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20210264

饰面刨花板VVOC及气味释放分析

Analysis of very volatile organic compounds (VVOC) and odor emission from decorative particleboard

北京林业大学学报, 2021, 43(8): 117-126. https://doi.org/10.12171/j.1000-1522.20210152

DOI:10.12171/j.1000−1522.20240124

定组态砂带粒度对刨花板磨削的影响

罗　斌　　杜　瑶　　柳浩雨　　王钦悦　　李春瑜　　李　黎　　刘红光
（北京林业大学材料科学与技术学院，木质材料科学与应用教育部重点实验室，木材科学与工程北京市重点实验室，北京 100083）

摘要:【目的】为探究新型定组态砂带的微磨粒粒度对木质材料磨削性能的影响，为定组态砂带的设计和制备提供依据，开展了定组态砂带磨削试验。**【方法】**本研究制备 150 目、180 目、220 目 3 种不同粒度的定组态砂带（P-150/180/220），与 220 目的非定组态砂带（O-220）对照，以刨花板为磨削对象，分别开展 20 万次磨削试验。对比不同微磨粒粒度的定组态砂带在磨削过程中材料去除量、刨花板表面粗糙度、砂带质量的变化，以分析定组态砂带粒度对磨削性能和砂带磨损的影响。**【结果】**（1）定组态砂带的刨花板去除量小于非定组态砂带，但稳定性远优于非定组态砂带；定组态砂带去除量的平均值与微磨粒粒度负相关，而随着磨粒粒度增大，定组态砂带去除量更加稳定。（2）定组态砂带磨削刨花板的表面粗糙度呈先下降后稳定，小范围上下波动的变化趋势；随着磨粒粒度的增大，刨花板表面粗糙度减小且更加稳定。（3）定组态砂带质量在磨削过程呈波浪形周期性下降；P-150 砂带质量损失最快，P-180 砂带质量下降最稳定；定组态砂带等效磨粒与表面微磨粒间存在补偿作用和协同作用。**【结论】**在等效磨粒形状和尺寸相同的情况下，微磨粒粒度对定组态砂带磨削性能有显著影响，但这种差异在粒度小的微磨粒中表现更加明显。本研究为定组态砂带的设计和生产提供了科学依据和理论支撑，促进了木材加工技术和砂带制造技术向高效智能化方向发展。

关键词：刨花板；表面粗糙度；砂带；磨削；粒度；定组态砂带
中图分类号：S784；TG580.1+2　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1000−1522(2024)09−0141−10
引文格式：罗斌，杜瑶，柳浩雨，等. 定组态砂带粒度对刨花板磨削的影响［J］. 北京林业大学学报，2024，46(9)：141−150.
Luo Bin, Du Yao, Liu Haoyu, et al. Influence of micro-grit size of precision-shaped abrasive belt on particleboard sanding［J］. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(9): 141−150.

Influence of micro-grit size of precision-shaped abrasive belt on particleboard sanding

Luo Bin　Du Yao　Liu Haoyu　Wang Qinyue　Li Chunyu　Li Li　Liu Hongguang
(School of Materials Science and Technology, Key Laboratory of Wooden Material Science and Application of Ministry of Education, Beijing Key Laboratory of Wood Science and Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract:［**Objective**］To investigate the effects of micro-grit sizes on the sanding performance of wood materials and to provide a basis for the design and preparation of precision-shaped abrasive belts (PSAs), sanding experiments with PSAs were carried out.［**Method**］In this study, abrasive belts with grit sizes of 150, 180, and 220 meshs (P-150/180/220) were prepared and compared with ordinary coated abrasive belt (OCA) with a grit size of 220 (O-220). 200 000 sanding tests were conducted respectively using particleboards as sanding samples. The material removal amount, surface roughness of particleboards, and mass changes of abrasive belts were compared to analyze the effect of micro-grit sizes of abrasive belt on sanding performance and wear process.［**Result**］(1) The removal amount of particleboard with PSA was less than that with OCA, but the stability of PSA was much better than that of OCA. There was a negative correlation between the average removal amount of particleboard sanded by PSA and the size of micro-grit. The removal amount of PSA became more stable with the increase of grit size. (2) The surface roughness of particleboard sanded by PSA decreased initially, stabilized and fluctuated within a small range. With the

收稿日期: 2024−04−22　**修回日期:** 2024−06−11
基金项目: 国家自然科学基金项目（32271787）。
第一作者: 罗斌，博士，副教授。主要研究方向：木工机械与加工自动化。Email：luobincl@bjfu.edu.cn　地址：100083 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学材料科学与技术学院。
本刊网址: http://j.bjfu.edu.cn; http://journal.bjfu.edu.cn

increase of grit size, the surface roughness of particleboard decreased and became more convergent. (3) In the sanding process, the mass of PSA showed a periodic wavy decline. The mass loss of P-150 was the fastest, and the mass decline of P-180 was the most stable. There were compensatory and synergistic effects between the equivalent abrasive particle and surface micro-grit. [**Conclusion**] Under the condition where the shape and size of equivalent abrasive grits are the same, the micro-grit size significantly affects the sanding performance of PSA, particularly in PSA with smaller micro-grit size. This study provides a scientific basis and theoretical support for the design and production of PSAs, promoting the development of wood processing technology and abrasive belt manufacturing technology toward high efficiency and intelligence.

Key words: particle board; surface roughness; abrasive belt; sanding; grit size; precision-shaped abrasive belt

磨削是人造板生产的重要步骤，可以去除人造板表面预固化层、产品尺寸定厚、提升表面质量[1]，对木制品的产品质量有较重要的影响。砂带磨削属于冷态磨削[2]，砂带周长较长，具有散热快、去除率高、使用寿命长、表面处理质量好等优点，是应用最广泛的磨削工具[3]。

影响木质材料砂带磨削质量的因素有很多，如木材特征（密度、纹理、含水率等）和加工参数（磨削速度、进给速度、砂带粒度）[4]。李晓旭等[5]发现砂带粒度是影响砂带磨削效率的一个主要因素。Luo 等[6]发现磨料粒度大小会影响切削深度，改变木材表面创成过程。普通砂带打磨刨花板时，使用粗的大磨粒磨削时去除量较大，但会在表面产生划痕，使磨削表面粗糙；用细的小磨粒磨削时虽然去除量小，但会优化试件表面的粗糙度[7]。Vitosyte 等[8]研究发现木材表面粗糙度直接取决于砂纸的粒度、木材的解剖特征和木纹的方向。Wu 等[9]采用正交试验研究了磨削参数对杨木表面粗糙度的影响，发现砂带粒度对磨削表面粗糙度影响最大。Gurau[10]使用算法过滤掉木材解剖结构的影响，发现相同粒度磨削后木材的加工粗糙度相近。磨削可以消除不同树种和不同纹理方向的粗糙度差异[11]。刨花板使用粒度 60 目以下的普通砂带加工后表面比刨平表面粗糙[12]，使用 120 目以下的砂带磨削刨花板，表面粗糙度提升不显著，磨削表面还会出现空隙[13]。Adamcik 等[14]量化了磨料粒度对刨花板表面粗糙度的影响，证明高粒度的细磨粒能够磨平表面的不规则。砂带粒度还对磨削后刨花板甲醛释放量有直接影响，Medved 等[15]研究发现砂纸的粒度会影响试件表面切削深度，从而影响刨花板的总表面积，即甲醛可以排放到环境中的表面，所以磨粒粒度还会直接影响刨花板的环保性能。

定组态砂带是一种可用于木质材料磨削的新型砂带，可以根据不同材料的磨削特性、加工要求调控磨粒形态和排列，从而实现木质材料的优质高效磨削[16]。目前对定组态砂带性能的研究主要集中在等效磨粒形状、排列规则方面，还缺少微磨粒粒度对定组态砂带磨削质量影响的研究。

为了使定组态砂带更好地满足刨花板的加工需求，本研究探究不同粒度微磨粒制备的四棱台形等效磨粒定组态砂带在磨削刨花板过程中的材料去除效率、表面加工质量、砂带磨损变化规律，分析磨料粒度对定组态砂带磨削性能的影响。本研究旨在进一步明确定组态砂带磨削过程中刨花板表面创成和砂带磨损过程，有利于进一步夯实木质材料磨削理论基础，为定组态砂带的设计、研究和生产提供理论支撑和实践指导。

1 材料与方法

1.1 材 料

本研究中用来制造定组态砂带的材料包括微磨粒、酚醛树脂胶黏剂、高强度化纤布基和其他添加剂。试验中使用的微磨粒购于郑州嘉晟研磨制品有限公司，这些磨粒主要由棕刚玉组成，化学成分为 Al_2O_3，磨粒粒度分别为 150 目、180 目、220 目。酚醛树脂胶黏剂购于太尔胶黏剂（广东）有限公司，固含量为 74% ~ 78%。高强度化纤布基购于白鸽磨料磨具有限公司，用作定组态砂带磨粒附着的基材。此外，砂带制备过程中还使用了固含量为 40% 的水性聚氨酯乳液和 95% 浓度的乙醇，均购于上海麦克林生化科技有限公司。

本研究使用的刨花板试件为同批次购买，并锯成相同尺寸的试件，试件尺寸为 50 mm（长）× 40 mm（宽）× 18 mm（高），平均密度为 0.6 g/cm^3。试件表面均匀，无明显的缺陷。

1.2 砂带制备

在本试验中，定组态砂带采用先植砂后造粒的制备方法，首先将微磨粒与胶黏剂混合均匀后平铺

在高强度化纤布基上，采用辊压法使混胶磨粒一次成型，塑造等效磨粒形状。根据单磨粒的切削特性，三棱锥磨粒具有锋利的切削刃，能有效切断木纤维，具有侧刃的磨粒具有更好的切削性能[17]，且前刀面夹角小的等效磨粒性能更优[18]。为方便制备，本研究将不同粒度的微磨粒辊压成前刀面夹角 30°具有侧刃的四棱台形等效磨粒（图 1）。最后放入烘箱干燥和固化，制备出等效磨粒形态一致、排布可控的定组态砂带。

1.3　磨削测试

采用木质材料磨削试验装置（图 2）进行刨花板磨削。该装置的驱动系统使工作台上的刨花板试件在水平方向上做往返移动，往返平均移动速度为 0.2 m/s。气动装置（ADNGF-50-40-A，FESTO，Esslingen am Neckar，德国）在打磨过程为砂带提供了向下的 100 N 恒定磨砂压力，在返回过程中，压紧装置和砂带抬起，以确保刨花板试件只被水平单方向磨削，单次磨削行程为 75 mm。光电计数器记录往返次数，每往复运动一个来回计为一次磨削。每块试件都用锁紧螺母牢固地固定在夹紧装置中。砂带展平通过张紧装置固定在压紧装置下。在压紧装置和砂带之间垫入橡胶压垫，使砂带与试件始终保持良好的接触。

由于刨花板在厚度方向密度不均匀，为减小密度变化对材料去除的影响，每磨削 0.5 万次更换一块刨花板试件。每条砂带打磨刨花板试件 40 块，本研究共打磨试件 160 块。经计算磨削区域的刨花板平均密度为 0.8 g/cm^3。

1.4　性能表征

1.4.1　材料去除量

材料去除量反映了砂带的材料去除性能和磨削效率。使用精密分析天平（天平精度为 0.001 g）测量每 0.5 万次磨削后的刨花板样品质量，以记录磨削前后质量变化，计算每个磨削周期的材料去除量。为了提高测量精度，在每次称量前，使用压力为 3.0 MPa 的高压气枪去除刨花板样品表面的木屑。

1.4.2　表面粗糙度

刨花板样品表面粗糙度反映了砂带加工的表面质量。每磨削 0.5 万次，使用 3D 表面轮廓仪（VR

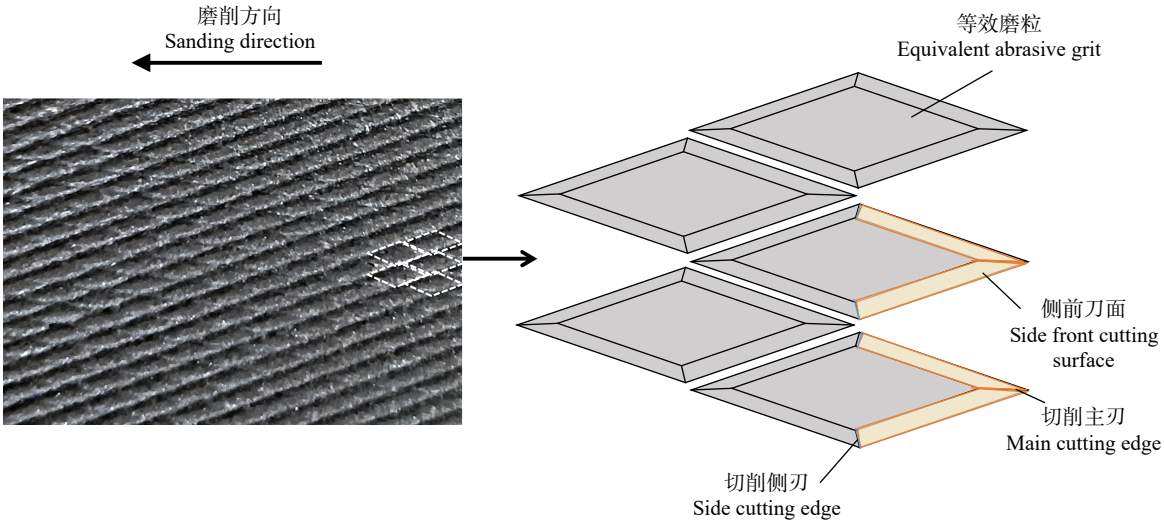
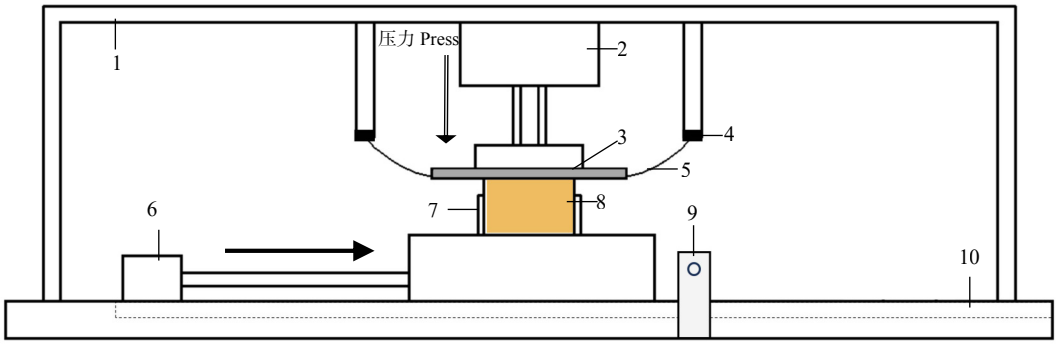


图 1　等效磨粒示意图

Fig. 1　Diagram of equivalent abrasive grits



1. 机架 Framework；2. 气缸 Cylinder；3. 压垫 Rubber pad；4. 张紧装置 Tensioner；5. 砂带 Abrasive belt；6. 驱动装置 Drive system；7. 夹紧装置 Fixture；8. 试件 Sample；9. 计数装置 Counter；10. 滑轨 Rail

图 2　磨削试验装置

Fig. 2　Sanding experimental equipment

6000，日本基恩士公司）测量刨花板表面的粗糙度（S_a）。S_a 为算术平均高度，是相对于表面的平均面，各点高度差的绝对值的平均值，表示曲面的平整度[19]。S_a 值越低，表示表面越光滑。

1.4.3 *砂带质量损失*

砂带质量损失表示砂带磨损程度。每磨削 1 万次后测试其质量。质量差为这 1 万次磨砂过程的砂带质量损失。

1.4.4 *砂带表面形貌*

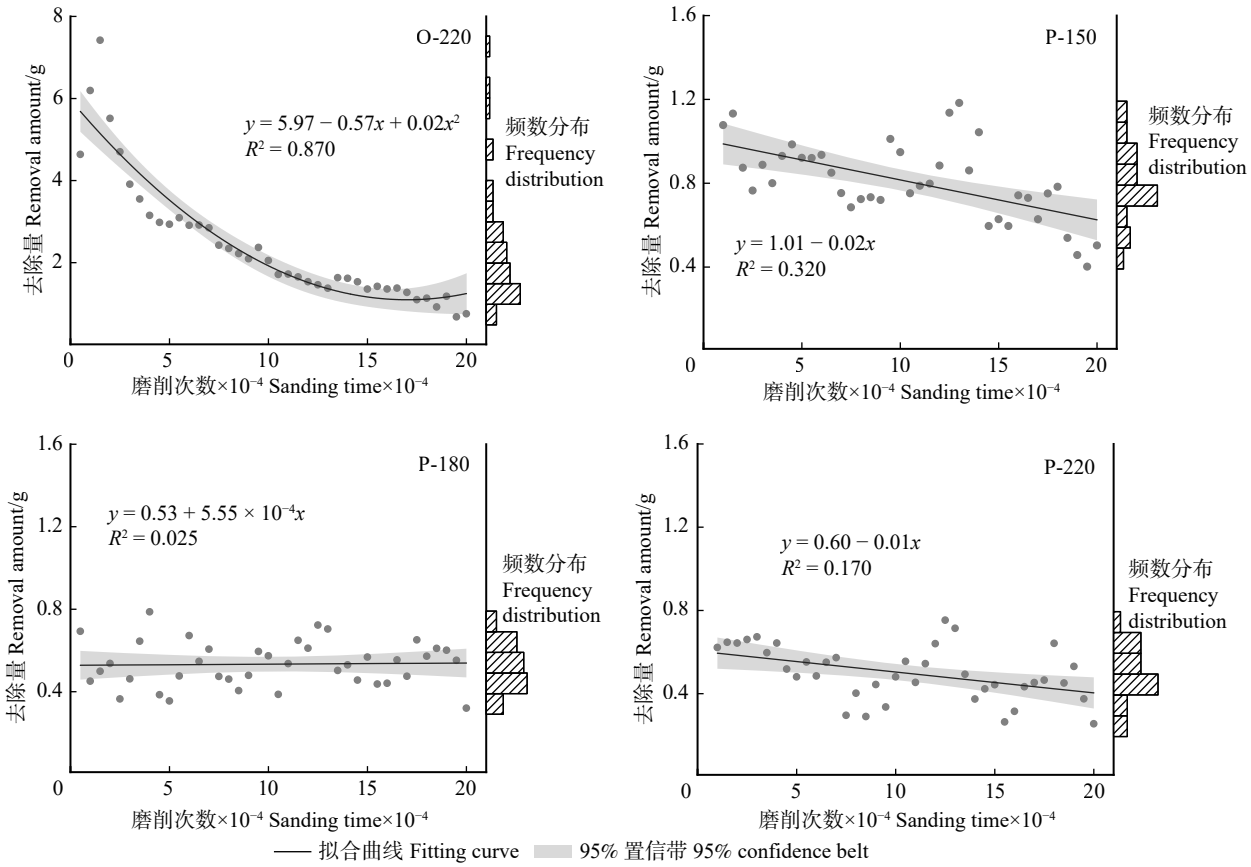
在磨削试验结束后，用扫描电子显微镜（SEM，S-3400N，日本日立公司）观测砂带表面形貌，根据观测结果分析磨粒磨损情况。

2 结果与讨论

2.1 材料去除量

对 220 目非定组态砂带（O-220）和微磨粒粒度分别为 150 目、180 目、220 目定组态砂带（P-150/180/220）磨削刨花板时的去除量进行分析，结果如图 3 和表 1 所示。图 3 显示：随着磨削次数的增加，砂带磨削刨花板的去除量逐渐减小。非定组态砂带磨削刨花板过程的平均去除量大于定组态砂带，且非定组态砂带磨削时的去除量下降最明显，从初期最大去除量 7.420 g，下降到末期最小去除量 0.678 g（表 1），整个磨削过程中去除量下降 90.86%，平均去除量为 2.426 g。非定组态砂带的去除量曲线的拟合效果更好，而定组态砂带去除量会在拟合曲线外上下波动（图 3）。定组态砂带去除量分布比非定组态砂带稳定，随着磨粒粒度的增大，定组态砂带磨削刨花板的平均去除量逐渐减小。图 3 侧面的频数分布直方图和表 1 中的标准差表明：P-180 磨削刨花板去除量最稳定，去除量分布范围集中且均匀，在磨削过程中的收敛性好，去除量没有明显下降。

非定组态砂带在磨削过程中去除量大于定组态砂带，而去除量稳定性差于定组态砂带。其原因在于：非定组态砂带采用静电植砂工艺制成，磨粒随机植于砂带表面，导致磨粒的直立姿态不同。磨粒单元形态、体积的差异导致非定组态砂带在磨削前期磨粒等高性较差（图 4）。在磨削 0～5 万次时，砂带表面有很多高度突出的磨粒，这些磨粒的切削刃锋利，切入试件深，材料去除量大。磨削初期非定组态砂带



O-220 代表 220 目非定组态砂带，P-150、P-180、P-220 代表微磨粒粒度分别为 150 目、180 目、220 目的定组态砂带。下同。O-220 represents an ordinary coated abrasive belt with micro-grit size of 220. P-150, P-180, and P-220 represent precision-shaped abrasive belt with micro-grit size of 150, 180, and 220, respectively. The same below.

图 3 不同粒度砂带磨削刨花板的去除量分布

Fig. 3 Removal amount distribution of particle board sanded with abrasive belts of different grit sizes

表 1　不同粒度砂带磨削刨花板去除量的数据统计

Tab. 1　Data statistics of the removal amount sanded with abrasive belts of different grit sizes

砂带类型 Abrasive belt type	最大值 Max. value/g	最小值 Min. value/g	均值 Mean/g	SD	极差 Range/g
O-220	7.420	0.678	2.426	1.520	6.742
P-150	1.183	0.402	0.806	0.186	0.781
P-180	0.787	0.320	0.524	0.109	0.467
P-220	0.753	0.255	0.496	0.129	0.498

有明显的初锐过程，较高磨粒磨损和未粘牢的磨粒脱落，使砂带表面磨粒等高性变好，磨粒切入刨花板表面的深度减小，砂带的去除量显著下降[20]。在初锐过程以后，砂带进入稳定磨削阶段，去除量缓慢下降。

非定组态砂带在未磨削时的磨粒高度分布较分散。经 20 万次磨削，非定组态砂带表面高度图中红色区域变得集中，砂带的等高性变好（图 4）。但此时由于有效磨粒的不断磨损、脱落，磨粒高度降低导致磨粒去除性能减弱，同时砂带容屑空间变小，更易发生砂带堵钝，砂带逐渐失去磨削作用，去除量在较低水平下几乎不再变化，达到砂带极限使用寿命。

定组态砂带在磨削过程中刨花板去除量的变化与普通砂带有较大不同。首先，定组态砂带在磨削初期去除量没有明显下降。这是因为定组态砂带制备时采用辊压成形的方式，砂带表面的等效磨粒等高性较好，在磨削初始阶段等效磨粒所受的压力均匀，切入刨花板表面相对较浅，并未出现初锐现象，但也导致去除量小于非定组态砂带。其次，定组态砂带磨削刨花板的去除量在均值附近上下波动，去除量下降缓慢，这得益于定组态砂带优异的自锐性。定组态砂带的等效磨粒由很多微磨粒组成，随着磨削过程的进行，表面微磨粒在磨削刃磨损后脱落，暴露出内部新的小磨粒，产生新的磨削刃（图 5a，b），而非定组态砂带没有这样好的自锐性能，故定组态砂带磨削稳定性更好。同时，定组态砂带等效磨粒的规则排布，使得定组态砂带比起非定组态砂带有更多的容屑空间和畅通的排屑通道（图 5c），因此在相同的磨削次数下定组态砂带更不易因堵钝导致砂带失效。

对比 3 种不同磨粒粒度的定组态砂带，随着磨粒粒度的变大，定组态砂带磨削刨花板的平均去除量减小。从宏观上看，等效磨粒在磨削过程中起到材料去除的作用，但从微观上是组成等效磨粒的微磨粒在磨削试件。微磨粒粒度越大，尺寸越小，组成相同形态的等效磨粒所需微磨粒数量越多，此时单个磨粒所受到的磨削力减小，去除能力减弱。所以随着定组态砂带的粒度增大，去除量减小。

定组态砂带在磨削刨花板的过程中，P-180 的去除量并没有明显高于 P-220。两种不同粒度定组态砂带的去除量相差不大，这说明了在磨削过程中等效磨粒会对大目数定组态砂带的材料去除起到补偿作用，减小定组态砂带不同粒度微磨粒之间的去除量差异。

P-150 磨削稳定性最差，而 P-180 和 P-220 的定组态砂带，从数据的标准差和极差来看磨削稳定性相差不大，P-180 稍优于 P-220。这是因为在当量磨粒尺寸相同的情况下，磨粒的尺寸越小，组成相同尺寸当量磨粒所需的磨粒数量就越多。在砂带自锐的过程中，磨粒越多就能产生更多的切削刃，故定组态砂带 P-180 和 P-220 磨削稳定性更好。

P-150 的磨粒尺寸较大，组成的等效磨粒气孔较多（图 5d）。等效磨粒表面存在较大的气孔，减少了有效磨粒数量且易堵塞磨屑，造成去除量变小。随着磨削进行，表面磨粒的不断脱落，新的磨粒暴露出来，气孔变小，磨屑排出，去除量便会迅速增大。这也导致了 P-150 去除量波动大。

2.2　表面粗糙度

非定组态砂带磨削刨花板表面粗糙度 S_a 均值

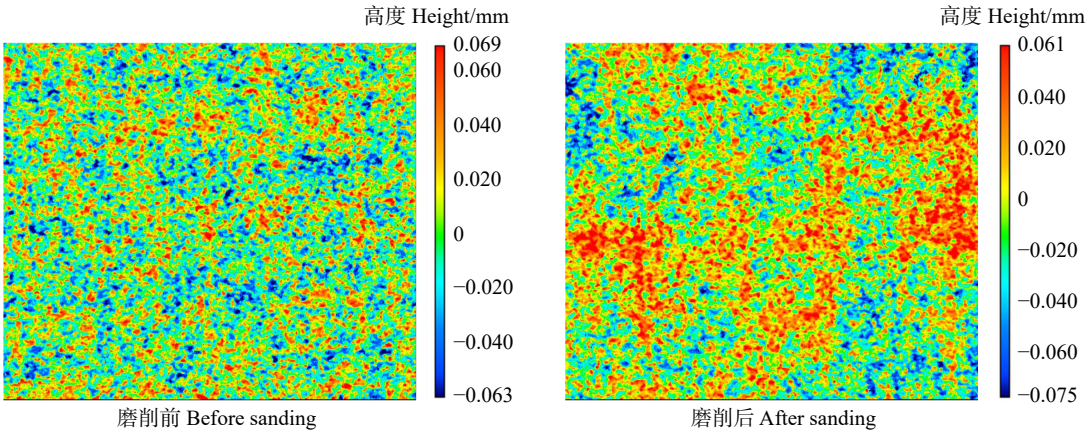
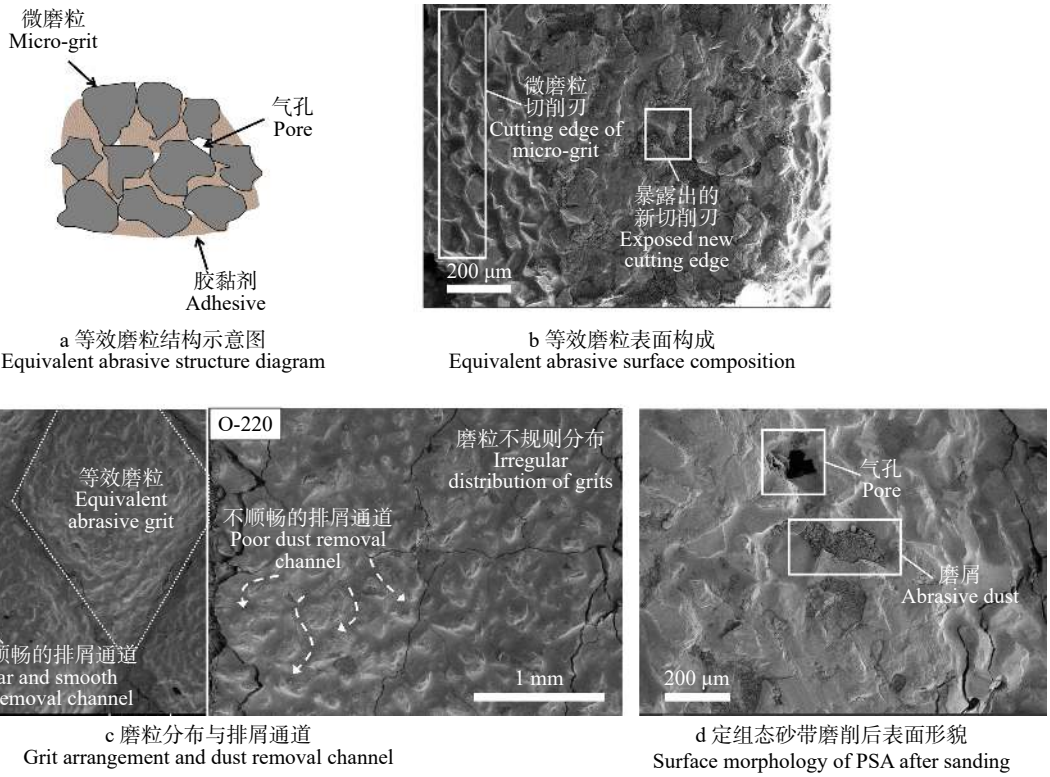


图 4　O-220 表面磨粒高度分布

Fig. 4　Height distribution of abrasive grits on the surface of O-220



a 等效磨粒结构示意图
Equivalent abrasive structure diagram

b 等效磨粒表面构成
Equivalent abrasive surface composition

c 磨粒分布与排屑通道
Grit arrangement and dust removal channel

d 定组态砂带磨削后表面形貌
Surface morphology of PSA after sanding

图 5 定组态砂带等效磨粒结构和表面形貌

Fig. 5 Structure and surface morphology of equivalent abrasive on PSA

为 7.107 μm，标准差为 2.617 μm，都远大于定组态砂带(表 2)。拟合曲线(图 6)表明：4 条砂带磨削的刨花板表面粗糙度基本都呈现先快速下降，后保持稳定的变化趋势，定组态砂带磨削表面粗糙度变化曲线的拟合效果略优于非定组态砂带。随着组成定组态砂带的微磨粒粒度增大，刨花板表面的粗糙度减小。图 7 侧面的频数分布直方图显示：O-220 和 P-150 的粗糙度分布较分散，P-180 和 P-220 的粗糙度分布更加集中，P-180 和 P-220 磨削表面的粗糙度相差不大，P-180 的 S_a 均值和标准差略小于 P-220，P-220 的极差小于 P-180。P-180 和 P-220 磨削试件的表面效果更好，P-180 磨削表面粗糙度更稳定，P-220 磨削表面质量更加可控。

表 2 不同粒度砂带磨削刨花板表面粗糙度

Tab. 2 S_a of particle board sanded with abrasive belts of different grit sizes

砂带类型 Abrasive belt type	最大值 Max. value/μm	最小值 Min. value/μm	均值 Mean/ μm	SD	极差 Range/ μm
O-220	15.977	3.637	7.107	2.617	12.340
P-150	7.999	3.281	5.521	1.439	4.718
P-180	6.365	2.264	3.818	0.806	4.101
P-220	5.528	2.389	3.911	0.827	3.139

试件表面粗糙度 S_a 数值越小说明砂带磨削表面质量越好，标准差体现了磨削质量的稳定性，标准差越小，刨花板表面粗糙度值的波动越小，磨削表面质量越稳定。非定组态砂带磨削试件的表面粗糙度大于定组态砂带，粗糙度稳定性也较差。P-180 和 P-220 定组态砂带磨削表面质量更平整且稳定。

从试件表面粗糙度变化趋势看，非定组态砂带磨削刨花板 0～5 万次的过程中，刨花板表面粗糙度下降剧烈，并在 5 万～12 万次过程中波动明显，然后随着磨削次数的继续增加表面粗糙度逐渐稳定，这是因为砂带表面的磨粒等高性较差(图 4)。在磨削初期，较高的磨粒先磨削试件，并在试件表面切入较深，所以初期有较高的去除量而试件表面粗糙度较差。当磨削一定次数后，较高的磨粒被磨损，砂带的等高性变好，有更多磨粒参与磨削，此时试件加工后的表面粗糙度较初始阶段会迅速降低。当磨削继续进行，表面磨粒磨损加剧，磨削阻力增大，磨粒通过破碎自锐增强磨削性能，切削刃的变化导致试件表面粗糙度的波动。当大部分磨粒破碎完全时，磨粒等高性进一步稳定，此时磨削试件表面粗糙度变小并逐渐趋于稳定。

定组态砂带磨削刨花板的粗糙度变化均较非定组态砂带稳定。图 6 显示：3 种定组态砂带磨削刨花板的表面粗糙度在整个过程中也基本呈先下降后稳定，上下波动的变化趋势。磨削前期下降趋势较明显，中后期粗糙度稳定，波动幅度较小。因为定组态砂带磨粒等高性好，所以在磨削初期时相较于非定

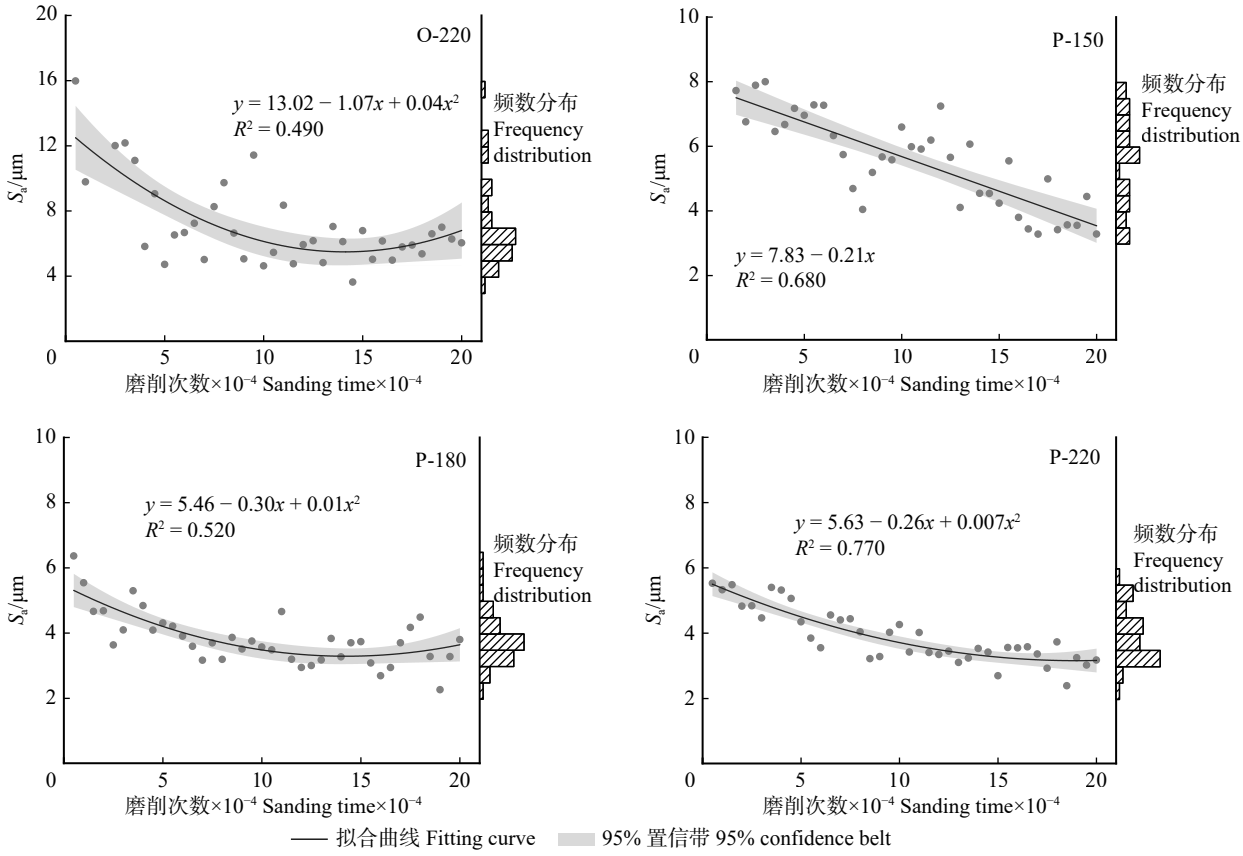


图 6　不同粒度砂带磨削刨花板表面粗糙度(S_a)分布

Fig. 6　S_a distribution of particle board sanded with abrasive belts of different grit sizes

组态砂带有着更好的磨削质量。等效磨粒结构导致定组态砂带自锐性更强，在磨削刨花板过程中随着磨削的进行磨粒发生破碎和脱落，会不断有新的磨粒参与磨削使在磨削过程中刨花板表面粗糙度在较小范围内上下波动。

定组态砂带磨削刨花板表面质量更好还与等效磨粒与表面微磨粒的协同作用(图 7)有关。在磨削过程中等效磨粒对刨花板表面进行切削，去除试件表面材料，同时砂带表面微磨粒也对等效磨粒磨削过的表面进行修整，使磨削试件的表面粗糙度下降。在磨削过程中这两类磨粒作用同时进行，所以在等效磨粒和表面微磨粒的共同作用下定组态砂带磨削的刨花板具有更小的表面粗糙度。

进一步对比 3 种不同粒度的定组态砂带磨削刨花板表面粗糙度变化，发现在整个磨削过程中 P-150 定组态砂带磨削试件表面粗糙度波动比 P-180 和 P-220 大。这是因为 P-150 单个微磨粒直径大，所受到的磨削阻力较大，使得整体结构不稳定，易发生微磨粒的脱落，造成试件表面粗糙度波动较大。P-180 和 P-220 磨削刨花板表面粗糙度值在经过初期下降之后，在磨削的中后期磨削稳定，刨花板表面粗糙度值变化幅度不大。因为这两种定组态砂带微磨粒尺寸小，磨粒之间结合强度好，单个磨粒所受磨削阻力较小，

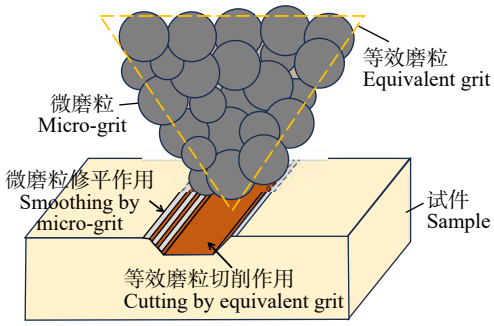


图 7　等效磨粒与表面微磨粒的协同作用

Fig. 7　Synergistic effect between equivalent grit and surface micro-grits

磨粒能够均匀地磨损、脱落。在磨削前期，磨粒表面胶层以及顶端微磨粒磨掉之后，等效磨粒与试件的接触面积变大，切入深度下降，试件表面粗糙度降低。之后磨削过程中等效磨粒受力均匀，微磨粒的磨损与脱落稳定发生，所以 P-180 和 P-220 磨削刨花板表面粗糙度稳定。而 P-180 磨粒目数略大于 P-220，微磨粒所受磨削阻力较大，部分微磨粒成团脱落，导致 P-180 磨削刨花板表面粗糙度波动略大于 P-220。

2.3　砂带磨损

3 种不同粒度的定组态砂带在磨削刨花板过程中，砂带质量呈波浪形下降，且均在磨削开始阶段有较明显的降低(图 8)。对 3 种不同粒度的定组态砂

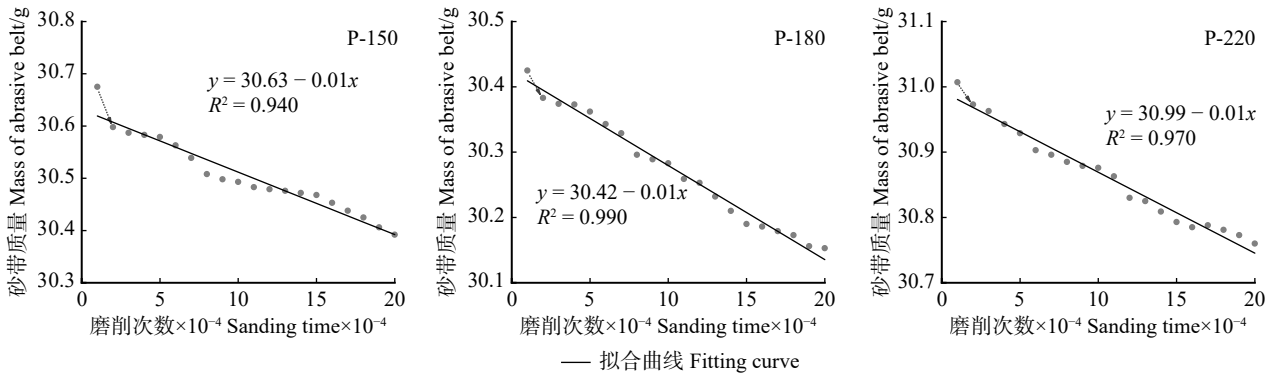


图 8 不同粒度定组态砂带磨削刨花板过程的质量变化

Fig. 8 Mass change of PSAs with different abrasive grit sizes during sanding particle boards

带质量分别进行线性拟合，P-150、P-180、P-220 的拟合后的残差平方和 R^2 分别为 0.968、0.981、0.974，各拟合曲线的 R^2 值均在 0.9 以上，拟合程度较好，其中 P-180 的拟合程度最好。P-150 拟合曲线的斜率最大，磨削过程中砂带质量下降的最快。根据砂带初始质量和最终质量之差可以计算出磨削 20 万次后的砂带质量损失(表 3)，质量损失从大到小依次是 P-150、P-180、P-220。

表 3 不同目数定组态砂带磨削过程的质量统计数据

Tab. 3 Statistical data of mass of PSAs with different grit sizes

砂带类型 Abrasive belt type	初始质量 Initial mass/g	结束质量 Final mass/g	质量损失 Mass loss/g
P-150	30.675	30.392	0.283
P-180	30.425	30.153	0.272
P-220	31.007	30.760	0.247

在初始 1 万次磨削中，3 种定组态砂带均有较大的质量损失，这是因为定组态砂带制备时会在砂带表面涂覆面胶。初始磨削过程会把砂带表面的胶层、等效磨粒表面高度较高的微磨粒以及黏结强度较弱的微磨粒都打磨掉，所以砂带质量下降较快。而在初始磨削阶段后，等效磨粒和表面露出的微磨粒都参与到刨花板的有效磨削过程中，在磨削力的作用下磨钝、断裂、脱落(图 9)，砂带质量稳步下降。

在整个磨削过程中，可以观察到 3 种定组态砂带质量都呈先快后慢的波浪形周期性下降。砂带质量的周期性下降是受堆积磨料的结构影响。在堆积磨粒内部存在有气孔，在定组态砂带磨削刨花板过程中，磨屑会填充在气孔和磨粒间隙(图 5a，d)，造成砂带表面的堵钝现象，受到堆积磨屑质量的影响，此时砂带质量损失便会变慢甚至会出现砂带质量增加的现象。通过前面的分析，定组态砂带具有优异的自锐性能，随着等效磨粒表面钝化的微磨粒脱落，堵钝在微磨粒之间磨屑也随之离开砂带表面，造成砂带质量损失加快。此后再砂带磨削刨花板产生磨屑，磨屑堆积在磨粒间隙，磨粒脱落带走磨屑，以此为周期反复进行，最终导致了砂带质量的波浪形下降。

在木质材料砂带磨削过程中，磨粒磨损形式包括脱落、断裂和磨钝，其中以断裂和磨钝为主[21]。将图 9 中 3 种不同粒度的定组态砂带进行比较：P-150 磨削后，表面磨粒脱落痕迹明显，而磨钝磨粒较少；P-180 表面断裂和磨钝的磨粒较多，脱落磨粒较少；P-220 表面磨粒磨钝表现十分显著，断裂和脱落相对占比较少。定组态砂带磨粒粒度越小，微磨粒尺寸越大，组成等效磨粒的微磨粒数量越少，微磨粒所受到的压强就会越大。定组态砂带在磨削时，所受压强大的微磨粒切入试件表面更深，受到的磨削阻力更大，更容易造成等效磨粒表面微磨粒的脱落。脱落后仍具有锋利切削刃的微磨粒游离在刨花板和砂带之间，与它们产生摩擦，导致试件表面质量

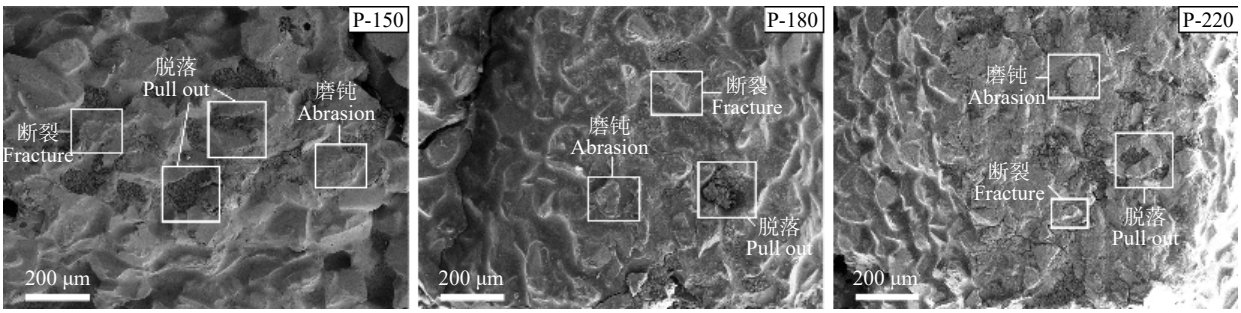


图 9 定组态砂带磨损形式

Fig. 9 Wear patterns of PSAs

变差，砂带质量损失也加大。而磨粒粒度大的砂带，如 P-220，由于组成等效磨粒的微磨粒数量多，每个微磨粒受到的压强小且均匀，切入试件表面较浅，单个微磨粒能充分磨钝至失效后，再发生破碎、脱落，并在等效磨粒表面形成新的切削刃，使得磨削质量好，砂带质量损失小。此时脱落的微磨粒由于磨损彻底，尺寸变小，对试件表面质量和砂带质量损失影响较小。

3　结　　论

本试验制备了 3 种不同微磨粒粒度的定组态砂带，与 220 目的非定组态砂带对比，进行了刨花板磨削试验，探究微磨粒粒度对定组态砂带磨削效率、表面加工质量、砂带磨损的影响，得到以下主要结论。

（1）定组态砂带去除量的平均值与微磨粒粒度存在负相关的关系，随着磨粒粒度增大，定组态砂带去除量更加稳定。等效磨粒会对微磨粒的材料去除起到补偿作用，减小定组态砂带不同微磨粒粒度间的去除量差异。

（2）定组态砂带磨削过程中刨花板的表面粗糙度呈先下降后稳定，小范围上下波动的变化趋势。随着磨粒粒度的增大，刨花板表面粗糙度减小且更加稳定。定组态砂带等效磨粒与表面微磨粒的协同作用使磨削试件的表面质量较非定组态砂带更优。

（3）定组态砂带质量在磨削过程呈波浪形周期性下降，质量变化可以用线性函数较好地拟合，R^2 均在 0.9 以上。P-150 砂带质量损失最快，P-180 砂带质量下降最稳定。随磨粒粒度增大，等效磨粒在磨削过程中更能稳定磨损，以微磨粒形式脱落，砂带的磨损量小。

本研究发现在等效磨粒形状尺寸相同的情况下，微磨粒粒度对定组态砂带磨削性能有显著影响，发现了等效磨粒和微磨粒之间的补偿和协同作用，丰富了木质材料磨削理论。当前研究主要针对四棱台形等效磨粒，粒度对不同形状定组态砂带的影响可能会有差异；下一步将进一步探究定组态砂带的其他参数对砂带性能的影响，为定组态砂带的制造和选用提供理论支撑和实践指导。

参　考　文　献

[1] 张健. 木质材料磨削表面创成机理研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2022.
Zhang J. Research on surface creation mechanism in sanding wood materials[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2022.

[2] 王维朗, 潘复生, 陈延君, 等. 砂带磨削技术及材料的研究现状和发展前景 [J]. 材料导报, 2006, 20(2): 106−108.
Wang W L, Pan F S, Chen Y J, et al. Present research status and development prospect of abrasive belt grinding technique[J]. Materials Reports, 2006, 20(2): 106−108.

[3] 杨雅琦, 汪生莹, 耿金光, 等. 水曲柳磨削的砂带磨损机理研究 [J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(8): 138−146.
Yang Y Q, Wang S Y, Geng J G, et al. Abrasive belt wear mechanism of sanding Manchurian ash[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2019, 41(8): 138−146.

[4] Luo B, Li L, Liu H, et al. Effects of sanding parameters on sanding force and normal force in sanding wood-based panels[J]. Holzforschung, 2015, 69(2): 241−245.

[5] 李晓旭, 陈永光, 李黎. 木质材料砂带磨削的若干问题 [J]. 木材加工机械, 2010, 21(3): 44−48.
Li X X, Chen Y G, Li L. Abrasive belt sanding technology of wood-based panel[J]. Wood Processing Machinery, 2010, 21(3): 44−48.

[6] Luo B, Zhang J, Bao X, et al. The effect of granularity on surface roughness and contact angle in wood sanding process[J]. Measurement, 2020, 165: 108133.

[7] Nemli G, Akbulut T, Zekovic E. Effects of some sanding factors on the surface roughness of particleboard[J]. Silva Fennica, 2007, 41(2): 373−378.

[8] Vitosyte J, Ukvalbergiene K, Keturakis G. Roughness of sanded wood surface: an impact of wood species, grain direction and grit size of abrasive material[J]. Materials Science-Medziagotyra, 2015, 21(2): 255−259.

[9] Wu X, Niu H, Li X J, et al. Research on GA-BP neural network model of surface roughness in air drum sanding process for poplar[J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2022, 80(2): 477−487.

[10] Gurau L. Testing the processing-induced roughness of sanded wood surfaces separated from wood anatomical structure[J]. Forests, 2022, 13(2): 331.

[11] Kúdela J, Mrenica L, Javorek. The influence of milling and sanding on wood surface morphology[J]. Acta Facultatis Xylologiae, 2018, 60(1): 71−83.

[12] Laina R, Sanz-Lobera A, Villasante A, et al. Effect of the anatomical structure, wood properties and machining conditions on surface roughness of wood[J]. Maderas-Ciencia Y Tecnologia, 2017, 19(2): 203−212.

[13] Copak A, Jirous-Rajkovic V, Spanic N, et al. The impact of post-manufacture treatments on the surface characteristics important for finishing of OSB and particleboard[J]. Forests, 2021, 12(8): 975.

[14] Adamcik L, Kminiak R, Schmidtova J. Measurement of the roughness of the sanded surface of beech wood with the profile measurement software of the keyence vhx-7000 microscope[J]. Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, 2023, 65(1): 73−85.

[15] Medved S, Krajsek G. The impact of sandpaper grit size on formaldehyde emission from particleboards[J]. Acta Silvae Et

Ligni, 2017, 112: 1−6.

［16］ 罗斌, 张健, 柳浩雨, 等. 木质材料磨削理论及技术研究进展 [J]. 木材科学与技术, 2022, 36(4): 6−12.
Luo B, Zhang J, Liu H Y, et al. Research status of sanding theory and technology for wood materials[J]. Chinese Journal of Wood Science and Technology, 2022, 36(4): 6−12.

［17］ Zhang J, Luo B, Li L, et al. Cutting characteristics for sugar maple using single grit with spherical cone and triangular pyramid geometries[J]. Materials, 2019, 12(21): 3621.

［18］ Du Y, Tian B, Zhang J, et al. Sanding performance and failure progress of precision-shaped abrasive belt during sanding MDF[J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2024, 82(2): 461−472.

［19］ ISO/TC 213. Geometrical product specifications (GPS)—surface texture: areal—part 2: terms, definitions and surface texture parameters: ISO 25178-2: 2021 [S]. New York: International Organization for Standardization, 2021.

［20］ 杜瑶, 田彪, 张健, 等. 中密度纤维板磨削时的砂带磨损研究及寿命评判 [J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(10): 126−134.
Du Y, Tian B, Zhang J, et al. Research on abrasive belt wear and working life evaluation during sanding medium density fiberboard[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2021, 43(10): 126−134.

［21］ Zhang J, Yang Y, Luo B, et al. Research on wear characteristics of abrasive belt and the effect on material removal during sanding of medium density fiberboard (MDF)[J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2021, 79(6): 1563−1576.

（责任编辑 吴 娟
责任编委 于志明）