

激光在木材加工工业中的应用

何乃彰

(中国林科院木材工业研究所)

为合理利用木材,提高其加工质量,近年来许多发达国家都在研究新的木材切削方法——激光切削。首次利用激光切削木材的试验是在1963年。1971年美国MC Millin and Harry公司展示了第一台木材激光切削装置。此后,苏联、法国、英国、捷克和民主德国等也都研制了用于切削木材的各种激光装置,并进行了大量的试验工作。试验证明,在一定的条件下,在木材加工工业中采用激光切削在经济上是合算的。激光切削具有一系列优点:切口很窄,在1毫米以下,木材损失小;切削头不会磨损,提高了切削精度;加工时,不需留余量和进行精加工;设备的通用性很强,能加工各种复杂形状的木质制品;切削时没有锯屑、粉尘、噪声和振动等。因此,在家具生产、建筑业中的木材镶饰和雕刻、木材的异形锯割,以及木质人造板的无剩余物加工工艺中得到了应用。

一、激光器

木材切削激光装置由形成激光射线的激光器和辅助系统(光学系统、射束和被切削材料的行走系统、控制系统,等等)两部分组成。

用于切割板材的各种型式激光器主要有固体激光器和气体激光器两种。红宝石激光器是固体激光器的代表。在固体激光器中,激光介质的激活原子被掺进固体基质中。红宝石激光器的激光棒是在人造蓝宝石(Al_2O_3)中掺进少量的三氧化二铬(Cr_2O_3)制成的。除了红宝石外,还有若干种其它晶体,例如钕,它在大约为1.06微米波长上具有激光跃迁。掺钕钇铝石榴石业已证明是一种非常有效的激光晶体。气体激光器的活性介质为各种纯气体和混合气体,引人注目的是氮(N_2)分子激光器和二氧化碳(CO_2)激光器,前者产生近红外以及紫外辐射,后者在10微米波长内发生振荡。常见的固体和气体激光器列于表1和2。

表1

激光离子	基 质 材 料	波 长 (μ)	注
Cr^{3+}	蓝宝石 (Al_2O_3)	0.6943	高功率, 第一台激光器
Nd^{3+}	氟化钙 (CaF_2)	1.046	广泛应用 高效率, 能连续运转
	钨酸钙 (CaWO_4)	1.06	
	玻璃	1.06	
	钕铝石榴石 (YAG)	1.06	
HO^{3+}	氟化钙 (CaF_2)	2.09	
U^{3+}	氟化钡 (BaF_2)	2.5	
	氟化钙 (CaF_2)		

参 考 文 献

- (1) 半井勇三, 1975, 木材の接合と接着剤, 森北出版株式会社, P85~P88, P99~P101.
- (2) 小四信, 1982, 木材の接着, 日本木材加工技術協会, P55~P56, P87~P91, P107~P111.
- (3) 重本允, 1981, 木工接着の実際シリーズ(第一回~第六回), 接着, Vol.35, NO.5~NO.11, P210~215, P257~P264, P300~P305, P347~P351, P407~P412, P519~P523.
- (4) 田口升, 1979, つき板化粧合板製造の問題点について. 大鹿振興株式会社内部資料. P6~P19.
- (5) 张勤丽, 1986年, 人造板表面装饰, 中国林业出版社, P55~P56, P67~P67.

表2

气体或混合气体	激活介质类别	基本激光波长 (μ)	注
He—Ne	Ne	0.6328, 1.15, 3.39	连续
Ne	Ne	0.5401, 0.6143, 1.15	脉冲高增益
Ne	Ne ⁺	0.3323, 0.3378, 0.3392	连续或脉冲
Ar	Ar ⁺	0.4765, 0.4880, 0.5145	连续或脉冲
Kr	Kr ⁺	0.5208, 0.5309, 0.5862, 0.6471	连续或脉冲
Xe—He	Xe	3.507, 5.574	连续高增益
Xe	Xe ⁺	0.4603, 0.5419, 0.5971	连续或脉冲
CO ₂ —N ₂ —He	CO ₂	10.6	脉冲和连续、高功率和高效率
H ₂	H ₂	0.12, 0.17	第一台真空紫外激光器
H ₂ O	H ₂ O	27.9, 118.6	长波长

二、木材切削激光装置

激光工作装置可分为三种主要结构形式：Ⅰ—被加工材料在切削过程中是固定不动的，而光学聚焦头沿着两个坐标移动；Ⅱ—被加工材料沿一个坐

标运动，而光学聚焦头则按另一坐标运动；Ⅲ—被加工材料按两个坐标移动，聚焦头固定不动。图1是三种激光装置的设计图示。

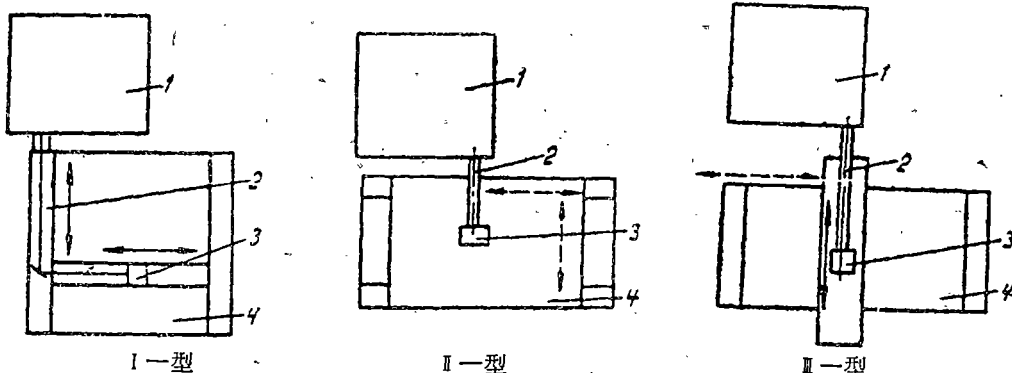


图1 自动激光装置设计图示（俯视图）

1.激光辐射器 2.射线导线 3.光学聚焦头 4.工作台

激光装置的结构按以下标准评定：在工艺流程中的工作能力、加工精度、引入通风系统和工艺过程保证系统的可能性。对于加工木质人造板，Ⅱ和Ⅲ型结构比较方便，因为它们能减轻板材的装卸过程。在Ⅰ型结构中，为减轻板材装卸过程，激光器和工作台需重新配置，这会导致射线输送长度的增大，转向反射镜的增多，使激光器的使用性能变差。在Ⅲ型结构中，被加工材料的最大尺寸是个重要因素，它将受到激光射线输送距离的限制。

加工精度决定于激光器、射线或材料移动系统和自动控制系统的工作质量。在以上三种结构中，最佳是Ⅲ型结构，其次是Ⅱ和Ⅰ型。随着工作区域的扩大，加工精度将降低。

Ⅰ和Ⅱ型结构适用于切割轨迹较简单的大型零件，而Ⅲ型结构则用于对加工精度和质量要求较高的零件，以及被加工材料的燃烧生成物比较危险的情况下采用。在这一结构中，通风系统可以刚性地

与切割头连接。几种激光装置的技术特性列于表3。

苏联木材科学研究所研制的木材切削激光装置（图2）由CO₂—ЛГН—702激光器和带有“Бирюза—2М”控制系统的坐标机组成。激光器的主要部件有：辐射器、控制箱、压注混合气体的装置、盛有工作气体CO₂、N₂、He的气瓶、电压调节器等。切削时，材料置于行走平台上，X坐标由行走平台沿导轨的移动来实现，Y坐标则由小车沿门架的移动来完成。激光射线从辐射器窗口射出后，水平地射向回转镜14、17各呈90°转角，而回转镜13则将射线垂直地射向待加工的板材上。

该激光装置的技术特性：

控制系统 以微机“Электроника

НЦ—04Т”为基础的 ЧПУ 2 УЗ2

程序载体 八道穿孔纸带

加工板材的最大尺寸（米）

表3

型 号	国 别	功 率 (千瓦)	移动方向		工作区尺寸 (毫米)	加工精度 (毫米)	移动速度 (米/分)
			射线	制件			
Алмаз-5	苏联	0.8	XYZ	—	3000×2500	0.5	11
БнРм3а	苏联	0.8	XZ	Y	6000×1800	0.5	4
Елны2015	捷克	0.5	XY	—	2070×1540	0.85	8
LRF	瑞士	0.6	—	XY	1000×1500	0.1	10
切削装置	西德	0.5	—	XY	1275×2000	0.1	10
Prodelase	法国	1.2	XYZ	—	2500×1500	0.02	12
切削装置	瑞士	—	XY	—	1100×1400	0.1	6
NC-2000	英国	0.4	Y	X	2000×1650	0.015	5
"	美国	0.5	—	—	1800×3600	—	45
"	西德	1.5	—	XY	1500×2000	0.01	7.9
Belcut	西德	1.25	—	XY	1650×2500	0.01	10
TYP-84	瑞士	1.5	—	—	2500×1300	0.05	18
切削装置	民主德国	0.55	—	XY	1500×6000	0.2	1.6
TLC series-203	日本	1.5	XZ	Y	800×600	0.005	6
" —308	日本	1.0	XZ	Y	1900×1000	0.002	6
" —408	日本	1.5	XZ	Y	2500×1300	0.03	6

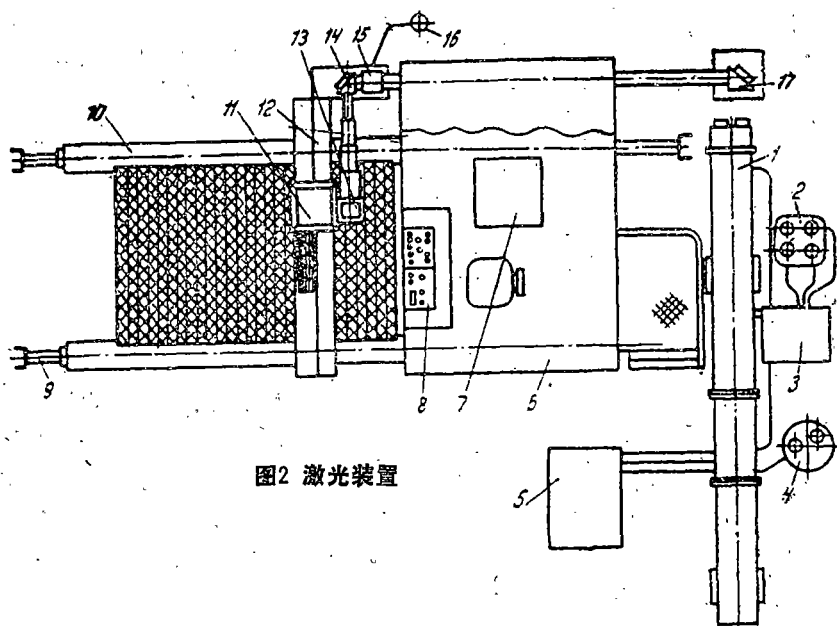


图2 激光装置

1. 辐射器
2. 6盛有工作气体的气瓶
3. 压注混合气体装置
4. 电压调节器
5. 控制箱
6. 操作室
7. 控制装置
8. 操纵台
9. 导轨
10. 行走平台
11. 小车
12. 门架
13. 14. 17. 回转镜
15. 节气门

长 2.5
 宽 1.8
 切割嘴沿周边的移动速度 (10^{-2} 米/秒)
 最小 0.33
 最大 8.3
 速度为 10^{-2} 米/秒的坐标机精度级
 0.33—3.3 1
 3.3—8.3 2
 切割嘴移动速度的不均匀性 (%) ± 5

从切割嘴到板子表面距离的保持精度
 (10^{-3} 米) ± 0.5
 辐射波长 (10^{-6} 米) 10.6
 激光工况 连续式、多波型
 激光辐射功率 (瓦) 800
 冷却水耗量 (10^{-6} 米³/秒) 25 ± 3
 气体混合气耗量 (10^{-5} 米³/秒) 4.2—10
 电源电压 (伏) 三相 $380 \pm 5\%$
 总需用功率 (10^3 瓦) 25

总重(千克)

10000

苏联木材科学研究所用该激光装置进行了切削各种材料的试验,其结果列于表4。

表4 切削各种板材的技术数据

板材品种	厚度 (10^{-3} 米)	切削速度 (10^{-1} 米/秒(米/分))
胶合板	6	1.32 {0.8}
纤维板	3.2	3.3 {2}
石棉水泥板	10	0.33 {0.2}
石棉板	5	0.33 {0.2}
实体木材(冷杉)	16	1.65 {1}

美国研制了新型高精度和高效激光系统ALPS,并已用于制材厂。1977年Peters and Banas公司制成功率率为5000瓦的激光装置,切削云杉速度为10米/分。研制了用于日产75立方米制材厂的自动激光系统,它具有足够的功率,以保证达到24米/分的木材切削速度。也可采用两台功率为5000—8000瓦的激光装置,并以12米/分的速度以“迎面”切削的方式代替一台切削速度为24米/分的装置。

英国British Oxygen Company Ltd公司研制的用于木材加工工业的激光装置为气体激光装置,主要部件为CO₂气体激光器,功率200瓦,射线束直径15毫米,波长10.6微米。光束通过光学透镜系统射向木材。为提高切削速度设有专用喷嘴。该装置能加工厚50毫米的木材(其切口宽0.75毫米)。

捷克和民主德国合作研制了LCS400—1木材切削激光装置,包括有带坐标标记的ELNC2015/A工作平台和SM400气体激光器(CO₂)。该激光器功率400瓦、波长10.6微米,保用期2000小时,重2500公斤,平台尺寸2015×1450毫米,最大切削速度21米/分,切削精度±0.01毫米,控制信息载体为穿孔纸带或磁带。

法国研制了ELMES SR3100激光测量装置,它能保证高速度的原木分选和精确的测量结果。激光射线通过棱镜和抛物柱面镜射向待测定的原木上。测量精度±1.5毫米,每秒可测50根原木,功率1000瓦。

三、激光加工形式

在木材加工工业中,激光的加工形式有木材的打孔和雕刻、木材和人造板的切割、表面加工及装饰。

1. 木材的打孔。为提高化学药品对木材的浸渍效益,采用激光打孔非常有效。辐射功率15—

100瓦的脉冲式或连续式激光器都能完成木材的打孔作业。用激光射线打孔具有一系列的优点:由于孔的尺寸较小(0.1—0.8毫米),打孔后的木材强度下降甚微;木材的细胞结构不受损坏,从而比采用机械工具刺孔进行浸渍的效果更好。

瑞士EMPA组织的木材加工部对木材在浸渍前用激光射线进行打孔的试验表明,激光射线渗透深度与脉冲时间不呈直线关系。当脉冲时间为5—20秒时,打孔深度为10毫米(对于云杉10—15毫米)在一定脉冲时间的条件下,木材的年轮结构、木材密度、木材含水率低于纤维饱和点,以及激光射线对木材表面的射入角度等,对激光射线的穿透深度没有本质上的影响。测定浸渍物质的渗透深度表明,防腐剂CFK的水溶性盐溶液沿纤维方向渗透到木材中的深度平均约35毫米。而在针叶材试样中,横向纤维渗透深度平均为2毫米(从孔边缘计)。

2. 木材的雕刻。木材雕刻是劳动量大而又细心的作业。但采用激光雕刻可实现全过程的自动化。采用现代自动控制系统能足以保证形形色色的雕刻图案。

对于这一作业同样可以采用辐射功率为15—100瓦的激光器。随着辐射功率的增大,加工速度也加快,其极限值为18—20米/分。苏联ЛТН—103型固体激光器用于木材雕刻是非常合适的,一次被加工的带宽为0.4—1毫米,深2—3毫米。其透镜焦点在材料表面上或位于表面±5毫米的范围内的移动。

3. 木材和木质材料的切削。用于木材镶饰的零件通常用手工切割,费工具精度低。采用激光射线进行切削,由于切削头不接触木材表面,切口宽度又小(0.3—0.4毫米),因此不会出现切口破裂,保证了加工精度,且能实现自动化。

对于木材的镶饰最宜采用功率100—300瓦的激光辐射器,切削速度可达15米/分。

4. 木材和木质材料的表面(修饰)激光处理。该激光处理是由散焦射线实现的。经过激光处理的表面具有不同颜色和粗糙度的特点。根据处理工况不同,激光射线每走一个行程的带宽为4—25毫米,深度为1—4毫米。为完成这种作业,可以采用功率为800—1000瓦的激光器,辐射波长不小于10.6微米。波长小于1.06微米的激光器是不合算的,因为在这一波长上木材反射系数达98—99%。木材的修饰可以按照模板(也可不同模板)进行,

模板由对辐射10.6微米非常好的反射材料制成。

四、激光切削木质材料的试验

激光切削木材的特点：切口窄（0.6—0.8毫米），然而，切口宽度随着切削材料厚度的增加而增大，可达1.5—2毫米；切口表面炭化，其炭化深度0.2—0.3毫米；切口表面光滑，其粗糙度在15—20微米的范围内；切口表面颜色在黄色与黑棕色之间变化。

1. 切削胶合板。用激光射线切削各种厚度的胶合板具有与切削木材同样的规律性。胶粘剂组分对切削工况影响不大。其切口宽为0.3—0.5毫米。切削桦木单板时，辐射功率为200—250瓦，切削速度15—20米/分，切口宽0.1—0.2毫米，切口侧向表面不炭化。

2. 切削刨花板。试验中采用了刨花板素板、薄膜和硬质贴面刨花板、单板贴面刨花板。板厚15—17毫米，射线入口处的切口宽为0.55—0.70毫米。试验表明，贴面将会增加加工的能量，并在一定程度上影响切口形状。射线入口处和出口处的切口尺寸取决于贴面的物理性能。

影响切口表面粗糙度的因素有：刨花尺寸及其所处方向、按切口高度分布的胶粘剂浓度以及刨花板中的孔眼。在切削过程中，降低辐射功率将会局部减小入口处的切口宽度，同时也会增大出口处切口的炭化程度。

3. 切削细木工板。切削细木工板的切口宽为0.4—0.65毫米，最大宽度为0.55—0.9毫米。切削后会形成非常美丽的切口花纹。木方之间的间隙会影响板子的彻底切断，但只需增大辐射功率50—60瓦便可克服。

4. 切削纤维板。加工单张纤维板的切口宽为0.3—0.5毫米，如果切口不炭化，切削速度可达15—16米/分。切削2—5张以上重叠的纤维板的试验表明，当切削垛在第三层的纤维板时，辐射功率为1100瓦，切削速度也不会大于2米/分。因为在切削过程中，燃烧生成物沉积于板子之间，因此对纤维板捆必须施以20牛以上的压力，才能进行加工。

5. 切削电工绝缘板。对单张和厚40—45毫米的一组绝缘板进行了试验。出现的主要困难之一是在切口表面形成厚0.2—0.4毫米的炭化层。绝缘板愈厚，炭化层的宽度就愈大。然而，当切削单张板时，其炭化层宽为最小。加工电工绝缘板的特点在于，当激光切割厚度在20毫米以下时，切口宽仅为

0.6—0.8毫米，且切口表面平行。

五、激光木材切削的应用前景

激光辐射在空间和时间上的相干性、单色性、锐方向性和能量的高度集中等特点使激光在木材加工工业中得到多方面的应用，并能完全满足三个方面的需要：木材和木质胶合板材的切削和加工，产品质量和工艺流程的控制；工艺参数（长、宽、直径等）的测定。因此，在设备造价比较高的情况下，加强以上三个方面的研究，以扩大激光技术有效利用的可能性。目前，激光在家具、装饰墙板、天花板、电视、音箱和运动器械上都得到应用。一些国家用激光来完成木质零件特种形状的切削，雕刻和制版、镶嵌、打孔等低生产率和劳动量大的作业。除此，激光还能进行木材的表面加工，如用散焦射线对云杉进行表面处理，能够得到非常美丽的棕色纹理等。

预先随动系统能够读出木材缺陷（节疤、腐朽、裂缝等）的性质和位置，然后借助于软件和自动控制系统来控制工作台或激光射线，以便进行最佳的锯切；借助于最新的电视技术——光学层析爱克司射线照相法进行检查，可以测定原木内部的结构（隐藏的缺陷、树脂的积聚、髓心状态，年轮花纹、节疤等）检查数据译成数码，建立计算机程序。以此来确定原木通过激光装置的最佳位置和下锯方案。试验证明，仅此一项就可提高15%的制材出材率。另外，其切口宽度比传统机械制材要降低70—80%，木材损失很小。

用激光切削家具毛坯的经验表明，与传统的木材加工方法相比，激光加工速度虽然较低，但由于激光射线本身所具有的多能性，其流水线的综合生产率仍可提高1—2倍。尤其在镶嵌作业上，切口宽度只有0.15—0.22毫米，加工精度可达 ± 0.05 毫米，且切口质量高。

经济分析表明，激光系统尽管一次性投资较大（40—80万美元），但投资回收期短，一般为1.5—3年，因而，在木材加工工业的一定作业范围内，采用激光切削在经济上还是合算的。

参考文献：

- [1] 福尔斯G.R., 1980, 现代光学导论, 上海科学技术出版社。
- [2] Стрижев Ю.Н., 1980, Применение Лазерных Установок Для Резания Древесных материалов, Плиты И жанера, Оз, Инф,

计算机在检测装置、仪器仪表中的应用

张久荣

(中国林科院木材工业研究所)

各种物理量和过程参数的检测是科学研究与生产过程控制最基本的条件。例如,木材干燥过程中,如果不能测得窑内的温度,风速和木材含水率等参数,就无法了解干燥过程进行的情况,更谈不上控制,也无法研究,并实现以最短的时间,最小的能耗,使木材达到满意的干燥质量。又如,在刨花和纤维施胶过程中,如不能测出刨花、纤维的流量和胶液的流量,就无法使施胶比例控制在工艺要求的范围内。

检测技术、检测装置的发展与生产的发展紧密相联。由于生产规模不断扩大,生产速度不断提高,为搞好生产管理,需要集中在操作室对整个过程的各个参量都能进行监视,要求安装在现场的测量仪表能将数据及时地送到操作室,这就促成了自动检测装置的产生和发展。

自动检测装置可实现:1.自动测量,不需人去插置测量元件;2.连续测量,连续显示结果;3.测量结果可以传送一段距离;4.进行一定的换算,累积处理等。

本文讨论的检测装置即指自动检测装置。对自动检测装置的要求是“准确”,即当被测参数相对稳定不变时,检测装置能正确地显示其读数,而当被测参数变化时能很快地反应出来。同时,不应受外界因素的影响(如电源波动、环境温度、电磁感应等)。

自动检测装置由以下几部分组成:1.测量变换元件,它直接测取物理参量的值,并把它变成便于传送的量,一般都是变成电学量;2.测量电路;3.放大器,当信号过于微弱时,可用放大器放大;4.显示仪表,用来显示检测结果。以上几部分之间的关系如图1所示^[1]

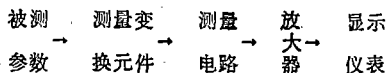


图1 自动检测装置

随着科学技术的发展,各种检测装置的发展表现在检测精度的提高,检测参数范围的扩大和测量时间的缩短;从容易测量的参数的检测,离线检测,接触式检测,发展到包括难于测量的参数的检测,并实现在线、非接触式测量。检测装置的构成,在五十年代经过一次电子化的飞跃。近年来,计算机技术的发展,使检测技术,检测装置发生深刻变化。计算机的高速度、高精度的数学、逻辑运算功能为检测过程中的各种参数的控制、计算、处理提供了极其有利的条件,促使检测装置精度提高,功能完善,体积缩小,调整、维修方便。

计算机在检测装置中的作用表现在以下几方面。

一、信号处理

在检测装置中,测量变换元件(或称传感器)输出的信号与被测参数之间存在某一规律,两者之间存在一定的数学关系。但这种规律和数学关系一般并不很精确。例如热电偶输出电势随温度升高而升高,近似线性关系,但两者之间并不是严格的线性关系。两者的实际关系如图2所示。如想得到一个随温度而线性变化的输出电压,用于显示,需有如图2所示^[2]的补偿功能。这种补偿曲线可以用图中所示的几节短线段来实现。利用计算机可以很容易地完成这项工作。同时,随着输入的变化不断地从一个数转入另一个数。计算机能以任何适当的精确度来完成这个任务。计算机一般可存贮64节线段的数值表,使非线性误差小于0.1%。

不论传感器测出的数据与实际参数之间的函数

(3) Абильситов Г.А., 1988, Применение лазеров В Деревообрабатывающей Промышленности, Мех. Обработка Дровесины, Озв.Инф.

(4) Бирюков М.В., ..., 1986, Лазерная Установка Для Резания Дровесины И Прит, Деревообрабатывающая Промышленность.