

用白桦制作家具弯曲件的研究

苏荣达来

(内蒙古林学院)

白桦 (*Betula platyphylla* Suk) 在我国分布广, 资源丰富。但其木材制成成品后易翘曲变形, 故未能广泛用于家具生产。若经过必要的处理, 可以消除这些缺陷, 也可以制作高档家具。白桦的弯曲性能(指木板厚度与可弯最小半径的比值)较好。苏联学者胡赫良斯基^[1]提出桦木的弯曲性能经过水热处理、带轮箍弯曲时为 1 : 5.7。按我们的实验和计算, 白桦的弯曲性能是 1 : 7.55。

木材的弯曲有三个方向, 即横向弯曲、端向弯曲和侧向弯曲, 见图 1。

上述三种弯曲方式中, 以横向弯曲的弯曲件长度大, 可满足家具弯曲件的要求, 故使用价值高。本课题讨论的仅限于白桦木材横向弯曲。

一、顺纹拉伸、压缩时应力和变形

木材横向弯曲时, 弯曲性能的好坏, 取决于其

[1]胡赫良斯基著, 申宗圻译, 1965, 农业出版社。

拉伸、压缩的应力和变形。白桦顺纹理拉伸、压缩时的应力和变形如图 1—1 所示。

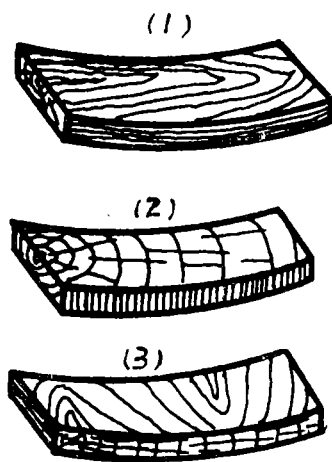


图1 (1)横向弯曲(2)端向弯曲(3)侧向弯曲

Mechanism, Determination and Control of Formaldehyde Emission from Wood-based Panels

Li Kaifu

(Northeast Forestry University)

Abstract

This paper is a review of part of fruitful research papers in the world about the notable problem of formaldehyde emission from wood-based panels produced with UF resins. In the paper, hazards and mechanism of formaldehyde release are explained as well as advanced controlling means and determination of emitted formaldehyde, in order to search for an effective and appropriate way to decrease formaldehyde emission from wood-based panels in China.

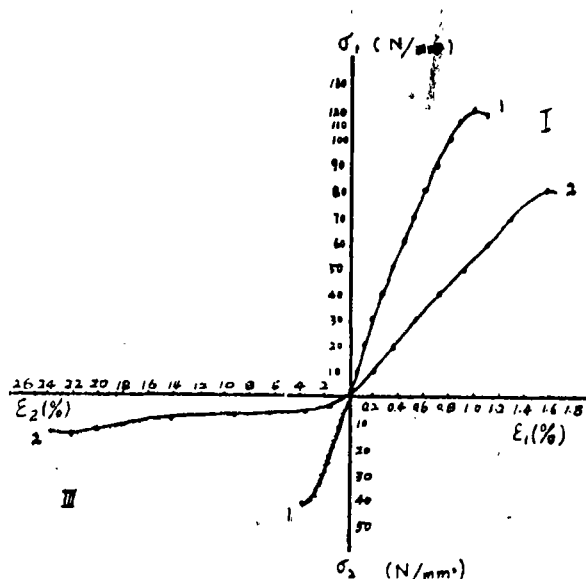


图 1—1

σ_1 —拉伸应力 σ_2 —压缩应力 ε_1 —相对拉伸变形 ε_2 —相对压缩变形

1—1 气干白桦拉伸、压缩时的应力、变形曲线
2—2 沸水处理后白桦的拉伸、压缩应力、变形曲线

图中，纵坐标为拉、压应力，每一单位长度表示 10N/mm^2 (100kg/cm^2)。横坐标为拉伸、压缩变形，从坐标原点右侧每一单位长度表示 0.2% ，原点左侧每一单位长度为 2.0% 。在第一象限中，拉伸应力每增加 10N/mm^2 有一相对应的变形值，在坐标系中就有个点，把这些点平滑地连接得到曲线 1—1、2—2（横坐标以上的部分）。在 III 象限中，对受压件每增加 2N/mm^2 有一个相对应的变形值，在坐标系中也有个点，把这些点平滑地连接得到曲线 1—1、2—2（横坐标以下的部分）。

二、在弹性极限内弯曲

白桦在气干状态下，弹性极限内进行弯曲时，在厚度上拉伸区域的拉应力、拉伸变形和压缩区域内的压应力、压缩变形，见图 2—1。

木材的弯曲性能用 $\frac{h}{R}$ 表示，这个比值越大，

弯曲半径就越小，弯曲性能越好。白桦的弯曲性能中等，比榆木、水曲柳差，比杨木、松木好得多。

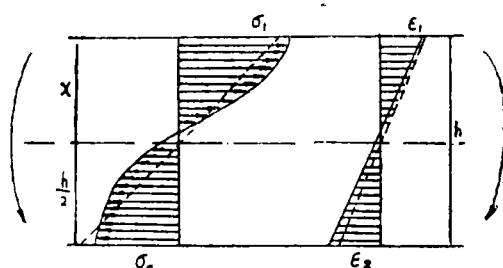


图 2—1

——实际应力分布曲线 应力分布近似曲线
 σ_1 —拉应力 (N/mm^2) ε_1 —相对拉伸变形
 σ_2 —压应力 (N/mm^2) ε_2 —相对压缩变形

根据材料力学中的公式 $\varepsilon = \frac{Z}{\rho}$ 推导。

$$\varepsilon = \frac{Z}{\rho} = -\frac{\frac{h}{2}}{R + \frac{h}{2}}$$

$$\therefore \frac{h}{R} = \frac{2\varepsilon}{1 - \varepsilon} \dots\dots\dots (2-1)$$

式中： ε —方材厚度内外边缘纤维层的相对拉伸、压缩变形 (%)；

ρ —中性层的弯曲半径 (cm)，弹性限度内

的弯曲 $\rho = R + \frac{h}{2}$ ；

Z —边缘纤维层到中性层的距离 (cm)；

R —弯曲模的外缘半径 (cm)；

h —方材的厚度 (cm)。

根据测定，白桦在弹性极限内弯曲时，凹面和凸面上的变形不能超过 0.5% ，这时的应力各为 25N/mm^2 (250kg/cm^2)，代入 2—1 得：

板厚为 1、2、3、4 cm 时，弯曲模的最小半径 R 分别为 99.5、199、298.5、398 cm。

设制作弯曲度不大的椅后腿，长度 l 取 80 cm，厚度 4 cm，要求弓高 4 cm，其弯曲模半径 R 为 398 cm。

$$\text{弓高 } f = R - R \cos \frac{\psi}{2} \quad (\text{见图 2—2})$$

$$\text{式中：弯曲角 } \psi = \frac{360 \cdot l}{2\pi\rho}$$

以 l 及 ρ 值代入上式，得 $\psi = 11.59^\circ = 11^\circ 35'$

$$\therefore f = (398 - 398 \cos \frac{11^\circ 35'}{2}) = 2.03 \text{ cm.}$$

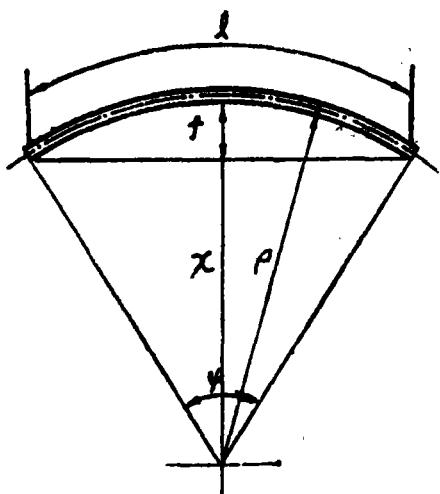


图 2-2

未达到原设计的要求,说明用气干白桦连这种曲率很小的椅后腿也不能采用。

为达到弯曲目的而要对木板施加的外力矩,其值应大于弯曲件内部拉应力、压应力对中性层的力矩之和,见图 2-3。

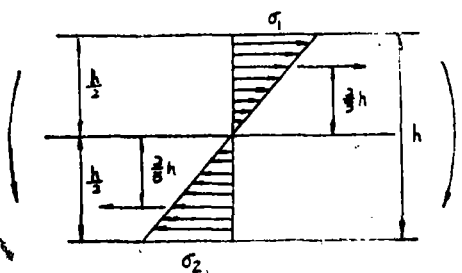


图 2-3

$$M_{\text{外}} > M_{\text{内}} = \sigma_1 \cdot \frac{h}{2} \times B \times \frac{1}{2} \times \frac{2}{3} h + \sigma_2 \cdot \frac{h}{2} \times B \times \frac{1}{2} \times \frac{2}{3} h = \frac{1}{6} B h^2 (\sigma_1 + \sigma_2) \quad (2-2)$$

式中: σ_1 —凸面上的拉应力 (N/mm^2);

σ_2 —凹面上的压应力 (N/mm^2);

B—板的宽度 (cm);

h—板的厚度 (cm)。

设弯曲件宽度 4 cm, 厚度为 1、2、3、4 cm, 用公式 2-2, 求得其外加力矩分别等于 33.33、133.23、300、533.33 Nm (333.3、1333.3、3,000、5,333.3 kgcm)。

三、在塑性区内弯曲

气干状态的白桦, 在弯曲过程中外加力矩足够

大, 弯曲变形超出弹性极限允许范围, 但未到破坏的程度时, 在整个厚度上顺纹拉伸、压缩应力和变形分布如图 3-1。

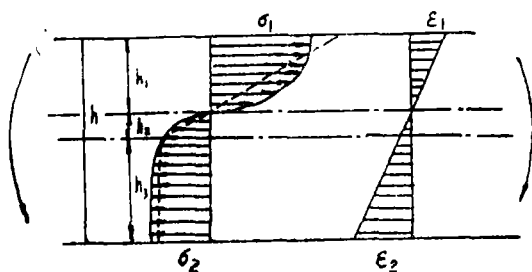


图 3-1

——实际应力分布曲线, σ_1 —拉应力 (N/mm^2)

ϵ_1 —相对拉伸变形 (%);

.....应力分布近似曲线, σ_2 —压应力 (N/mm^2),

ϵ_2 —相对压缩变形 (%).

应力和变形的分布与弹性极限内弯曲时相比较, 中性层已移向凸面, 拉应力区域 h_1 减小, 压应力区域还分应力变化区域和塑性区域, 分别用 h_2 和 h_3 表示。从图中各量的关系, 得以下三个方程:

$$h_1 + h_2 + h_3 = h \quad (3-1)$$

$$\sigma_1 : \sigma_2 = h_1 : h_2 \quad (3-2)$$

$$\epsilon_1 : \epsilon_2 = h_1 : (h_2 + h_3) \quad (3-3)$$

再从拉应力、压应力在 x 轴上的投影之和等于零得:

$$\frac{1}{2} B h_1 \sigma_1 = \frac{1}{2} B h_2 \sigma_2 + E h_3 \sigma_2 \quad (3-4)$$

以 (3-1), (3-2) 式代入 (3-4) 式, 并以 η 表示 σ_1/σ_2 , 这些方程将成为:

$$h_1 = 2h \frac{\eta}{(\eta+1)^2} \quad (3-5)$$

$$h_2 = 2h \frac{1}{(\eta+1)^2} \quad (3-6)$$

$$h_3 = h \frac{\eta-1}{\eta+1} \quad (3-7)$$

根据实验, 塑性区内白桦 σ_1 极限 = 12,000

N/cm^2 , σ_2 极限 = 4,700 N/cm^2 , $\eta = \frac{\sigma_1 \text{极限}}{\sigma_2 \text{极限}} =$

$$\frac{12000}{4700} = 2.55, \text{代入 (3-5), (3-6),}$$

$$(3-7) \text{式得: } h_1 = 0.40h, h_2 = 0.16h, h_3 = 0.44h$$

这些数据表明: 外加力矩足够大时, 中性层往凸面方向移动 10%, 压应力区域高度从 50% 减少到 16%, 塑性区域的高度占 44%。

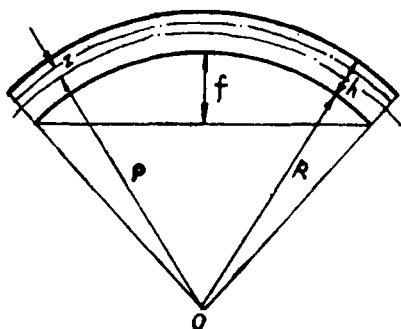


图 3-2

ρ —中心层的弯曲半径 (cm)

R —弯曲模的外圆半径 (cm)

f —弓高 (cm)

弯曲性能如图 3-2 所示。实验得知, 气干材白桦在塑性区内弯曲时最大相对拉伸变形 1%, 最大相对压缩变形为 3%。弯曲过程中凸面上拉伸变形值首先超过极限而破坏。因此, 应在凸面上计算弯曲半径。因拉伸区域高度

$$h_1 = 2h \frac{\eta}{(\eta+1)^2} \text{ 和 } \rho = R + h - h_1 = R + h -$$

$$2h \frac{\eta}{(\eta+1)^2}, \text{ 代入公式 } \varepsilon = \frac{Z}{\rho}, \text{ 并整理得:}$$

$$R = \frac{h}{\varepsilon_{1\text{最大}}} \left[\frac{2\eta}{(\eta+1)^2} (1 - \varepsilon_{1\text{最大}}) - \varepsilon_{1\text{最大}} \right]$$

$$\dots\dots\dots (3-8)$$

顺纹理拉伸变形 ε_1 最大为 0.01, 故上式可近似

$$\text{地看作 } R = \frac{h}{\varepsilon_{1\text{最大}}} \times \frac{2\eta}{(\eta+1)^2} \dots\dots\dots (3-9)$$

又因白桦在塑性极限内 $\eta = 2.55$, 代入 (3-9) 式得: h 为 1、2、3、4 cm 时, 弯曲模半径 R 分别为 40.5、81.0、121.5、162.0 cm。

若取长 80 cm、厚 2 cm 的板, 其弓高

$$\begin{aligned} f &= R - \cos \left(\frac{360l}{2 \times 2\pi R} \right) \\ &= 81 - 81 \times \cos \left(\frac{360 \times 80}{2 \times 2 \times 3.14 \times 81} \right) \\ &= 9.6 \text{ cm.} \end{aligned}$$

这样的弯曲件可作摇椅底板。

外加力矩 M 外的计算:

$$M_{\text{外}} > M_{\text{内}} = \sigma_1 h_1 B \frac{1}{2} \times \frac{2}{3} h_1 +$$

$$\sigma_2 h_2 B \frac{1}{2} \times \frac{2}{3} h_2 + \sigma_2 h_3 B \left(\frac{2}{3} h_2 + \frac{1}{2} h_3 \right)$$

设白桦板 $B = 4 \text{ cm}$, $h = 1、2、3、4 \text{ cm}$ 时, M 外应大于 54.2、217、488、868 Nm。

四、水热处理后的弯曲

实验证明, 水热处理可以软化木材, 便于弯曲。沸水处理 100 分钟的白桦板 (厚 2 cm), 极限压应力为 1350 N/cm^2 , 极限相对压缩变形为 22.5%, 极限拉应力 8200 N/cm^2 , 极限相对拉伸变形 1.6%,

拉应力与压应力的比值 $\eta_{\text{沸水}} = \frac{8200}{1350} \approx 6$, 由

公式 (3-5)、(3-6)、(3-7) 求得各应力区的相对高度:

$$h_1 = 0.25h$$

$$h_2 = 0.04h$$

$$h_3 = 0.71h$$

$$\text{从 } \varepsilon_1 = \frac{h_1}{\rho}, \varepsilon_2 = \frac{h_2 + h_3}{\rho} \text{ 两式的关系, 并}$$

$$\text{代入 } h_1, h_2, h_3 \text{ 值, 可以导出 } \varepsilon_2 = \frac{\eta^2 + 1}{2\eta} \varepsilon_1$$

$$\dots\dots\dots (4-1)$$

从已知的 ε_1, η 算出凹面上的压缩变形 $\varepsilon_2 =$

$$\frac{6^2 + 1}{2 \times 6} \times 1.6\% \approx 5\%。显然凹面上的纤维变形$$

值远未达到极限变形值 22.5%, 蒸煮的软化效应尚未充分发挥。

用公式 (3-9) 计算出弯曲性能 $\frac{h}{R} =$

$$\frac{1}{15.3}。当 h = 1、2、3、4 \text{ cm 时, 则 } R \text{ 分别为}$$

$$15.3、30.6、45.9、61.2 \text{ cm。}$$

若制作一端为半圆形弯曲件如图 4-1 所示。板厚 2 cm, 弯曲半径是 30.6 cm, 弯曲件外缘间尺寸为 65.2 cm。显然, 因太宽不能用于椅座框、椅背, 也不能用于制作茶几腿和桌子腿, 但可以作圆桌面围条。

外加力矩的计算:

$$M_{\text{外}} > \frac{1}{2} h_1 B \sigma_1 \times \frac{2}{3} h_1 +$$

$$\frac{1}{2}h_1B\sigma_2 - \frac{2}{3}h_2 + h_3B\sigma \left(\frac{2}{3}h_2 + \frac{1}{2}h_3 \right)$$

以板宽 $B=4\text{cm}$, $\eta=6$ 代入上式, 当板厚为 1、2、3、4 cm 时, M 外分别为 21.5、46.05、193.2、415.8 Nm, 比未经水热处理的要小得多。

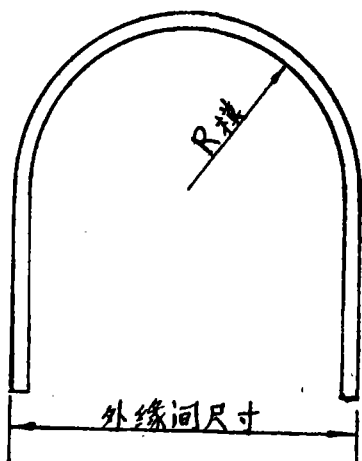


图 4—1

五、带轮箍的弯曲

轮箍为厚 1mm, 宽度和长度与木板相等的钢带, 两端各焊一块角钢制成的。把经过水热处理的木板, 刨光面靠住轮箍的钢带, 两端挨着角钢内侧垂直面, 放到曲木机上弯曲。在弯曲过程中, 角钢档块挡住木板两端, 限止受拉区域纤维的伸长变形, 这时中性层在凸表面附近。其应力和变形见图 5—1。

根据实验, 带轮箍弯曲时凸面上的拉伸变形限制在 1%, 凹面上的压缩变形定为 22.5%。

水热处理的白桦板顺纹拉伸变形 1% 时的拉应力 8200N/cm^2 , 压缩变形 22.5% 时的压应力 1350N/cm^2 。根据 (3—1)、(3—2)、(3—3) 式可以求得各应力区域的高度:

$$h_1 = 4.25\%h \quad (5-1)$$

$$h_2 = 0.7\%h \quad (5-2)$$

$$h_3 = 95.05\%h \quad (5-3)$$

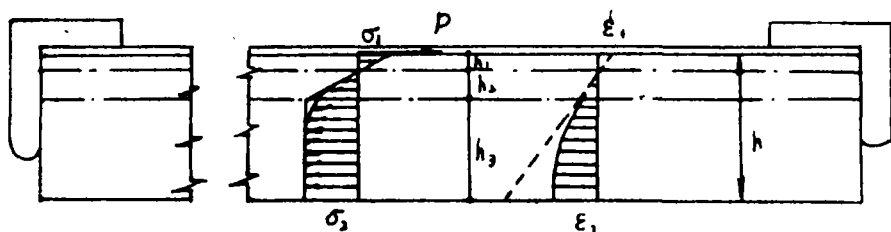


图 5—1

——实际应力分布曲线 应力分布近似曲线 ——实际变形曲线 理想变形曲线

$$\text{因 } \varepsilon = 22.5\% = \frac{Z}{\rho} = \frac{h_2 + h_3}{R + h_3} =$$

$$\frac{0.007h + 0.9505h}{R + 0.9505h} \text{ 经整理得 } \frac{h}{R} = \frac{1}{3.3}$$

..... (5—4)

但是多次的实验证明, 厚 1 cm 的板, 绝不能弯曲 3.3 cm 半径的曲木件。这是因为①轮箍弯曲时, 轮箍方面来的横向压力很大, 使木板和模子的接触角非常紧密, 木板凹面部来不及从容变形, ②方材中纤维并非完全平行, 有些纤维被锯断, 还有髓心, 最大压缩变形达不到 22.5%。因此在计算确定带轮箍弯曲的弯曲性能时, 引用弯曲性能公式必须在顺纹理压缩变形值上乘一系数 K 。根据我们实验, 建议取用 0.5。

采用此系数后, 上式即为 $0.5 \times 22.5\% =$

$$\frac{(0.0075 + 0.9505)h}{R + 0.9505h}$$

$$\therefore \frac{h}{R} = \frac{1}{7.55} \quad (5-5)$$

由此可知, 厚度为 1、2、3、4 cm 板的弯曲半径为 7.55、15.1、22.65、30.20 cm。

用 2 cm 厚的板, 制作半圆形体, 外缘间的尺寸为 $2 \times 2 \times 7.55 + 2 \times 2 = 34.2\text{cm}$, 可用以制作半圆椅座圈、折叠椅的靠背、椅子扶手、侧弯柜类家具的横撑等。

轮箍钢带承受的力 P 和厚度 S :

弯曲过程中轮箍与方材上产生的内力之和等于 0, 即:

$$P + \frac{1}{2}Bh_1\sigma_1 - \frac{1}{2}Bh_2\sigma_2 - Bh_3\sigma_2 = 0,$$

由此得轮箍上产生的力 P 和拉应力 $\sigma_{\text{钢}}$:

$$P = \frac{1}{2}Bh_2\sigma_2 + Bh_3\sigma_2 - \frac{1}{2}Bh_1\sigma_1 \quad (5-6)$$

$$S = \frac{P}{B\sigma_{\text{钢}}} \dots\dots\dots (5-7)$$

式中: B—方材宽度 (cm);

h_1, h_2, h_3 —各应力区域的高度 (cm);

σ_1 —拉应力极限 (N/cm²);

σ_2 —压应力极限 (N/cm²);

$\sigma_{\text{钢}}$ —轮箍钢带的拉应力极限, 按普通碳素钢计, 定为300N/mm²;

S—轮箍钢带的厚度 (mm)。

当方材和轮箍带的宽度为4cm, 取方材厚度为

1、2、3、4 cm时, 得

$$P_1 = 4451.9\text{N} \quad S_1 = 0.37\text{mm}$$

$$P_2 = 8903.8\text{N} \quad S_2 = 0.74\text{mm}$$

$$P_3 = 13356\text{N} \quad S_3 = 1.11\text{mm}$$

$$P_4 = 17808\text{N} \quad S_4 = 1.48\text{mm}$$

当方材厚度为1.2cm时, 钢带厚度取1 mm,

方材厚度为3.4cm时, 钢带厚度取1.5mm。

外加力矩:

$$M_{\text{外}} > M_{\text{内}} = P(h_1 + \frac{S}{2}) +$$

$$B \frac{h_1}{2} \sigma_1 (\frac{2}{3} h_1) + B \frac{h_2}{2} \sigma (\frac{2}{3} h_2) +$$

$$B h_3 \sigma_2 (h_2 + \frac{1}{2} h_3)$$

取方材宽1cm, 厚度1、2、3、4 cm时, 外加力矩大于29.1、105.8、232.45、408.95Nm。

结 论

1. 气干状态的白桦板, 在弹性极限内时中性

层在板厚度的中心线上。弯曲性能 $\frac{h}{R} = \frac{1}{100}$ 。厚

2 cm板的最小弯曲半径约为2 m, 而且在弯曲时外加力矩很大, 干燥定型慢。

2. 气干状态的白桦板, 在塑性极限内进行弯

曲时中性层向凸面方向移动10%。弯曲性能 $\frac{h}{R} =$

$$\frac{1}{41}$$
。2 cm厚板的可弯最小半径为82cm, 80cm

长弯曲件的高为9.6cm, 勉强用于制作摇椅底板。

因外加力矩大, 干燥定型慢, 故实用意义也不大。

3. 经沸水处理后弯曲, 弯曲性能 $\frac{h}{R} =$

$$\frac{1}{15.3}$$
。用2 cm厚的板弯成半圆形件, 其外缘直

径等于65.2cm。因其直径仍偏大, 不能制作茶几、小桌的支架件, 但可作圆桌腿、摇椅底板、椅子后腿等。因外加力矩小, 干燥定型快, 实用意义比前二种大。

4. 经沸水处理后, 带轮箍进行弯曲时, 弯曲性

能 $\frac{h}{R}$ 等于 $\frac{1}{7.55}$ 。若用2 cm厚的板弯成半圆形

件, 外缘直径为34.2cm。弯曲件的表面质量好。

故此法能广泛地应用于各种弯曲件。在实用中通常采用2 cm厚的弯曲件, 其外加力矩为104Nm, 设计制作这种曲木机也较容易。

接第48页

(5) Тиме Н.С., Теоретическое исследование и разработка технологии получения древесноволокнистых плит сухого способа формирования с использованием связующих на основе мочевино-формальдегидных олигомеров; Дис. из соиск. уч. степени канд. техн. наук. - Л., 1975, с. 118.

(6) Цфасман А.В., Аналитический контроль в производстве карбамидных смол. - М.: Лесн. пром-сть, 1973, с. 134.

(7) Зльберт А.А., Тиме Н.С., Царева З.В. Влияние степени отверждения мочевино-формальдегидной смолы на свойства древесностружечных плит. - Реф. информ. ВНИИЗИЛеспом, 1972, No 2, фаяера и плиты.

(8) Kohler R., Kunststoffe Techn., 1941, 11, 3.

(9) Voshimi N., Kamauchi T. et. al., J. Chem. Soc. Japan, Ind. Chem. Sect., 1962, 1131.