

ARTIGO ORIGINAL

Efeitos do tratamento térmico nas propriedades da raspadeira de bambu

Weiwei Shangguan1 • Yingchun Gong2 • Rongjun Zhao2 • Haiqing Ren2

Recebido: 2 de março de 2016 / Aceito: 1 de julho de 2016 / Publicado online: 4 de agosto de 2016

O(s) autor(es) 2016. Este artigo é publicado com acesso aberto em Springerlink.com

Resumo Este estudo tem como objetivo investigar características físicas, propriedades mecânicas e composição química de scrimber de bambu tratado termicamente. As amostras foram aquecidas a 50-230 °C em condições de laboratório por 2 h. Os resultados dos testes de amostras de tratamento térmico foram comparados com os controles.

A absorção de umidade diminuiu ligeiramente e depois aumentou com o aumento da temperatura. Provavelmente foi devido a mudanças de cristalinidade e estrutura química. As propriedades mecânicas variaram muito de acordo com os diferentes níveis de temperatura.

Os tipos de falha refletiram a temperatura do tratamento até certo ponto. A resistência à compressão atingiu um máximo quando os feixes de fibras fraturaram perfeitamente a 170 °C, o que é um ponto de virada para as propriedades físicas, mecânicas e químicas sob essa condição de tratamento térmico. O aumento das propriedades mecânicas do scrimber de bambu após o tratamento térmico foi devido à solidificação da resina fenólica.

Palavras-chave Tela de bambu Tratamento térmico Tipos de falhas
Propriedades mecânicas FTIR

Introdução

Como um material sustentável e ambientalmente natural, o recurso de bambu é rico na China, com rápido crescimento e características renováveis. Devido ao seu colmo oco, a aplicação do bambu na construção é limitada, embora tenha

alta relação resistência-peso [1]. Para melhorá-lo na construção, alguns produtos à base de bambu, como madeira compensada de bambu, madeira laminada de bambu, painéis de partículas de bambu e compósito de polímero de reforço de fibra de bambu, são produzidos [2]. Bamboo scrimber, um tipo de produtos de bambu, são feixes de fibra de bambu com adesivo dispostos em paralelo sob uma prensa. O pensamento do scrimber de bambu é baseado na madeira reconsolidada proposta por Coleman, unindo várias lascas de madeira entre si [3, 4]. Em comparação com a madeira, as resistências mecânicas do scrimber de bambu podem chegar a 6,36 vezes a *Pinus massoniana* e 11,03 vezes a *Cunninghamia lanceolata* [5] que atendem aos requisitos de resistência do material de engenharia.

A China desenvolveu o raspador de bambu com sucesso na década de 1990. A matéria-prima usada para fabricar o cortador de bambu inicialmente eram resíduos de bambu e produtos de bambu. Com o aumento da demanda por riscadores de bambu, os produtos produzidos a partir de resíduos não conseguiam atender a demanda dos consumidores, e então os fabricantes passaram a utilizar tiras de bambu como matéria-prima [6]. O método de afobar os feixes de fibra de bambu era principalmente de operação manual no início, e foi substituído mais tarde pela afobagem mecânica, melhorando bastante a eficiência da produção [7]. No estágio inicial da produção do scrimber de bambu, a parte interna do bambu foi removida, porque a ligação da interface é fraca entre a parte externa e a parte interna [8]. Na década de 1990, foi desenvolvida com sucesso a tecnologia de afobamento mecânico incluindo parte inteira do bambu, o que aumentou a utilização do bambu em mais de 90% [9]. A tecnologia de fabricação madura e a alta resistência do scrimber de bambu [5] o tornam um novo material de engenharia. Agora, a pesquisa sobre as propriedades mecânicas do bam boo scrimber foi estudada [2, 10] e, no entanto, sua termoestabilidade não foi relatada.

& Haiqing Ren
renhq@caf.ac.cn

¹ Faculdade de Silvicultura, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China

² Instituto de Pesquisa da Indústria da Madeira, Academia Chinesa de Silvicultura, Pequim 100091, China

O tratamento térmico é usado para melhorar o desempenho de produtos de madeira e bambu [11, 12]. Após o tratamento térmico, a madeira

torna-se bastante hidrofóbico. A provável explicação para a alteração da molhabilidade da madeira após o tratamento térmico pode ser a plastificação da lignina que leva a uma reorganização dos componentes poliméricos lignocelulósicos [13]. Para madeiras macias, o tratamento térmico protegeu a superfície da madeira para se tornar mais áspera.

A resistência à compressão e o módulo de ruptura (MOR) das amostras diminuíram, enquanto o módulo de elasticidade (MOE) aumentou durante o tratamento térmico [14]. A resistência de união das placas de bambu laminadas coladas pele a pele com PF diminuiu após o tratamento térmico com óleo, enquanto a resistência de união das placas coladas medula a medula não mostrou diferença significativa antes e após o tratamento térmico [12]. Estudo de tratamento térmico em bambu tem sido relatado [15], e esta área de scrimber de bambu precisa ser explorada.

As propriedades físicas e mecânicas do scrimber de bambu foram estudadas [16]. O tratamento térmico teria influência significativa no adesivo da raspadeira de bambu, que é o principal fator relacionado à propriedade mecânica. No entanto, há poucas informações sobre isso. O objetivo principal deste trabalho foi estudar a influência do tratamento térmico na riscadeira de bambu.

Materiais e métodos

Materiais

Neosino calamus affinis com 3 a 4 anos de idade foi utilizado como matéria-prima da riscadeira de bambu. Os tubos de bambu não tratados foram afogados ao longo da direção longitudinal da fibra e depois carbonizados a uma pressão de vapor de 0,37 MPa e uma temperatura de 115 °C. Feixes de fibra de bambu carbonizados (39,78% de α-celulose, 15,00% de hemiceluloses e 37,19% de lignina) foram imersos em uma resina de fenol formaldeído (Dynea Co., Beijing City, China). O adesivo foi controlado a 15% do peso seco do scrimber de bambu, e os feixes de fibra de bambu foram prensados a 140 °C e 5,2 MPa por um tempo de espera de 1 min/mm. A densidade média da placa de riscador de bambu foi de 1,22 g/cm³.

Amostras de 20 mm (largura) 9 20 mm (espessura) 9 300 mm (comprimento) para resistência à compressão paralela ao grão e 300 mm (comprimento) 9 20 mm (largura) 9 20 mm (espessura) para propriedades de flexão foram usadas para o testes.

Tratamento térmico

Ambas as amostras de flexão e compressão foram separadas em oito grupos, cada um com 12 repetições, para diferentes temperaturas de tratamento térmico: controle (20 °C), 50, 80, 110, 140, 170, 200 e 230 °C. As amostras de tratamento térmico foram colocadas em um forno de laboratório por 2 h. Em seguida, as amostras foram colocadas em temperatura ambiente (20 °C, 60 % de umidade) por 24 h. Cor

as medidas foram realizadas na parte central das amostras usando um colorímetro SC-80C, e os valores de L*a*b* foram medidos. Quatro medições foram registradas na superfície da amostra de cada nível de tratamento. Para observar as mudanças de densidade durante o tratamento térmico, foram realizadas medições de 12 réplicas de amostras de flexão e compressão após diferentes níveis de tratamento térmico, respectivamente.

A perda de peso após o tratamento térmico foi calculada de acordo com a fórmula:

$$WL \ \% = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

A absorção de umidade à temperatura ambiente por 24 h foi estimado pela seguinte equação:

$$MA \ \% = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (2)$$

onde m₀ é a massa inicial da amostra antes do tratamento térmico, m₁ é a massa da amostra seca em estufa após o tratamento térmico e m₂ é a massa das amostras tratadas à temperatura ambiente por 24 h.

Testes mecânicos

As amostras tratadas termicamente foram colocadas à temperatura ambiente durante 24 h. O MOE de flexão e a resistência à compressão paralela ao grão foram determinados de acordo com GB 1936.2–2009 [17] e GB 1935–2009 [18], respectivamente. A resistência à flexão foi testada de acordo com GB 1936.1–2009 [19], usando um método de flexão de três pontos. 180 réplicas da amostra de controle para resistência à compressão paralela ao grão foram testadas para comparar tipos de falha com amostras tratadas termicamente.

Instron 5582 (Instron Co., Grove City, PA, EUA) foi usado para os testes de resistência mecânica.

Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de FTIR foram registrados como discos KBr em um espectrômetro FTIR TENSOR 27 (Alemanha) em uma faixa de número de onda de 4000–400 cm⁻¹. Três réplicas de amostras de controle (20 °C, 60 % de umidade) e 230 °C foram selecionadas aleatoriamente e terra. O pó moído (2 mg) foi misturado com KBr (200 mg) em um almofariz de ágata para formar pellets. Os testes foram repetidos três vezes para cada temperatura de tratamento térmico.

Resultados e discussão

Perda de peso e densidade

A perda de peso e densidade para amostras de bambu tratadas termicamente em diferentes temperaturas são mostradas na Fig. 1. A perda de peso aumentou e a densidade diminuiu enquanto a temperatura

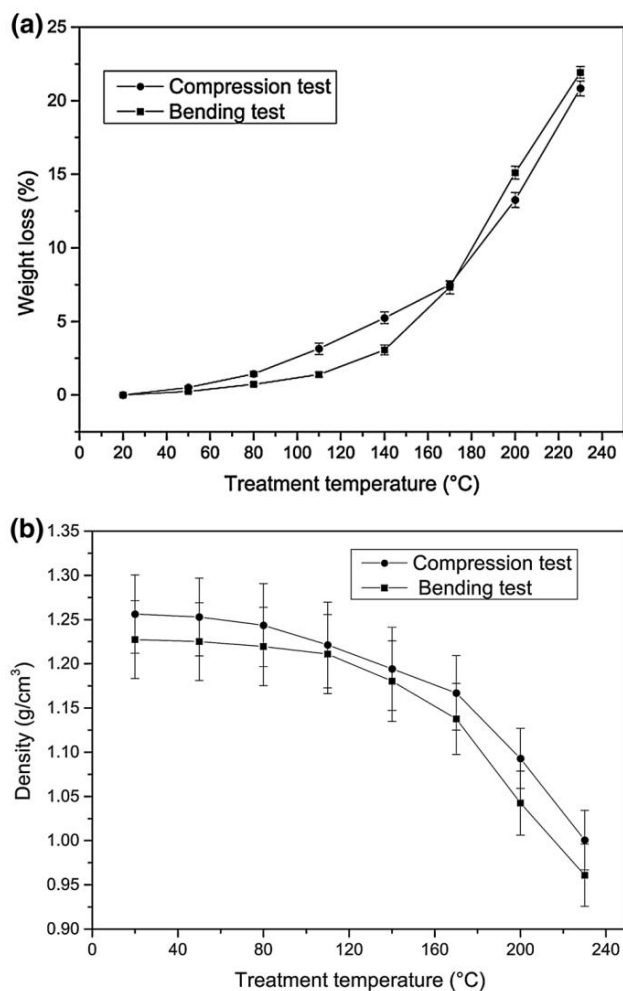


Fig. 1 Influência da temperatura no peso e densidade. um peso. b Densidade

aumentou. Evolução de massa notável foi observada para temperaturas entre 170 e 230 °C. Esse fenômeno também pode ser observado em gráficos de variação de densidade com a temperatura, cujas inclinações aumentam em altas temperaturas. Os gráficos de mudança de densidade da amostra de compressão e da amostra de flexão eram quase paralelos entre si em temperaturas baixas (20–80 °C) e altas (170–230 °C). Mudanças na perda de massa e densidade do scrimber de bambu durante o tratamento térmico podem ser explicadas por modificações químicas após o tratamento térmico. Polissacarídeos (celulose e hemicelulose), cuja estrutura ramificada e tecidos amorfos são mais suscetíveis à degradação térmica do que outros componentes, diminui de forma constante durante o tratamento térmico [20]. A celulose no bambu diminui de 41,54 para 26,61% à medida que a temperatura aumenta da temperatura ambiente para 200 °C [21]. As hemiceluloses se decompõem em xilose, galactose, ramnose e arabinose com o tempo de tratamento. Os teores de hemiceluloses e lignina aumentaram com o tratamento térmico devido à redução da quantidade relativa de

celulose [23]. A perda de peso de fenólico abaixo de 150 °C é principalmente a evaporação de água, fenol livre e formaldeído livre. A ligação éter dibenzílico na estrutura fenólica começa a reagir quando a temperatura atinge 150°C, causando perda de oxigênio na forma de água e dióxido de carbono, e gerando ligação metina [24].

Mudanças de cor e absorção de umidade

As mudanças de cor da raspadeira de bambu após o tratamento térmico são mostradas na Fig. 2 e na Tabela 1. A cor clara original das amostras tornou-se marrom escuro após o tratamento térmico como madeira [25], especialmente em temperaturas de 200 e 230 °C. L^* , representa a estabilidade da luminosidade [14], diminuiu significativamente acima de 170 °C, indicando uma tendência da superfície do scrimber de bambu a se tornar mais escura. Valores aumentados e diminuídos mostram uma tendência da superfície tornar-se avermelhada e esverdeada para a^* , e amarelada e azulada para b^* [14]. As superfícies do scrimber de bambu tornaram-se esverdeadas e azuladas após o tratamento térmico a 230 °C. A taxa de mudança de cor foi menor abaixo de 170 °C do que acima de 170 °C, e esta tendência é consistente com a perda de massa. A mudança de cor em diferentes temperaturas pode ser devido à degradação da lignina, uma lignina típica de Gramineae composta por polímero de desidrogenação mista de álcoois coniferil, sinapil e p-cumarílico [23], no qual existem grupos cromofóricos (carbonil e ligação insaturada).

A lignina é relativamente estável à temperatura ambiente, mas é facilmente oxidada com a formação de grupos cromofóricos em alta temperatura [26, 27]. As ligações bO-4, principais tipos de ligação na lignina, são clivadas significativamente durante o tratamento de explosão a vapor (210 °C) [23], formando um grupo hidroxila livre. Na presença do grupo auxocromo (ligação hidroxil, carboxila e éter), a cor do scrimber de bambu escureceu [28]. A mudança para o azul do metoxi (lignina) é outra razão para a mudança de cor do bambu. O pico de metoxi muda para números de onda mais altos à medida que a temperatura aumenta e o comprimento de onda diminui [29]. Da luz visível, quanto menor o comprimento de onda, mais escura é a cor.

Rachaduras apareceram na superfície das amostras de compressão e flexão quando a temperatura atingiu 170 °C. Isso pode ser devido à cura do adesivo que causou concentração de tensão nas superfícies das amostras.

Na Fig. 3, a absorção de umidade diminuiu ligeiramente quando a temperatura estava abaixo de 170 °C e aumentou quando a temperatura excedeu 170 °C. O ângulo de contato do bambu tratado termicamente com óleo (180 °C) aumentou após a extração do óleo devido a alterações nos componentes químicos do bambu [12]. Em baixas temperaturas, o aumento da cristalinidade [30], perda de hemiceluloses ou pentoses e hexoses frágeis, redução das ligações OH, modificações estruturais e alterações químicas das hemiceluloses [25] podem levar à estabilização dimensional e diminuir a higroscopicidade e o inchamento das hemiceluloses.

Fig. 2 Descoloração do controle e bambu tratado termicamente amostras de escriba. Da esquerda para à direita estão as amostras de controle e amostras expostas a 50, 80, 110, 140, 170, 200 e 230 C por 2h. a Amostras de dobra. b Amostras de compressão



Tabela 1 Mudanças de cor das amostras de scrimber de bambu após o aquecimento tratamento

Temperatura (C) L*		uma*	b*
20	39,04 (0,45)	9,96 (0,21)	23,71 (1,04)
50	37,14 (0,65)	9,59 (0,49)	24,87 (0,74)
80	38,24 (0,49)	10,15 (0,32)	23,84 (0,50)
110	37,25 (0,083)	8,55 (0,091)	24,43 (0,14)
140	37,05 (0,41)	9,37 (0,31)	25,14 (0,34)
170	34,18 (0,19)	10,32 (0,49)	27,83 (0,52)
200	26,76 (0,64)	10,15 (1,54)	24,75 (1,42)
230	14,21 (0,27)	-0,54 (0,81)	20,57 (1,14)

Os valores entre parênteses indicam o desvio padrão

bambu. A 230 C, a absorção de umidade aumentada pode ser porque a estrutura cristalina da celulose, onde a água é não é fácil de entrar [31], foi danificado. Cristalinidade diminui nas fases posteriores do tratamento térmico devido à despolimerização e degradação em ambos os cristais e regiões não cristalinas [30]. E a água entrou na área amorfa, aumentando a absorção de umidade. Reduzido densidade e destruição da estrutura química também podem ser as razões de aumentar a absorção de umidade em altas temperatura. Absorção de umidade da amostra de compressão foi maior do que a amostra de flexão provavelmente, porque área de superfície específica da amostra de compressão foi maior do que a amostra de dobra.

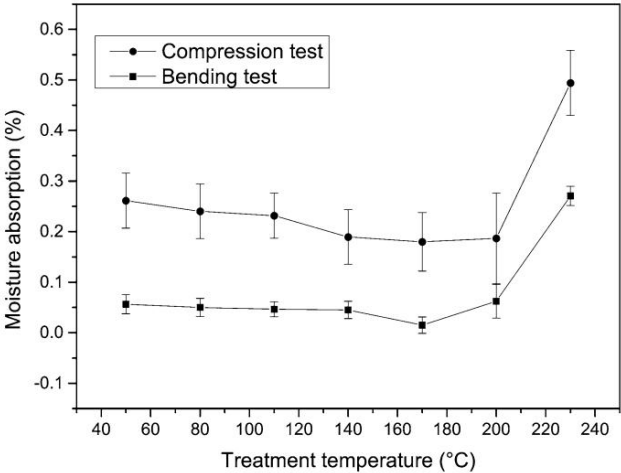


Fig. 3 Influência da temperatura na absorção de umidade

Tipos de falha e propriedades mecânicas

Para os tipos de falha, nenhuma diferença significativa foi encontrada entre as amostras de flexão de controle e tratadas termicamente; portanto, corpos de prova de compressão paralelos ao grão foram observado. Os tipos de falha das amostras de controle para resistência à compressão são falha diagonal (Fig. 4a), final rachaduras (Fig. 4b) e falha do tipo Y (Fig. 4c). Para o tipo de falha diagonal, o deslocamento da fibra ocorreu ao longo do cisalhamento plano (plano diagonal) durante o processo de compressão. A fibra de deslocamento estava fora da superfície da amostra, como mostrado em

Fig. 4 Tipos de falha de amostras de compressão paralelas ao grão à temperatura ambiente. a1 Falha diagonal. a2 Falha diagonal. b Terminar rachaduras. c Falha do tipo Y

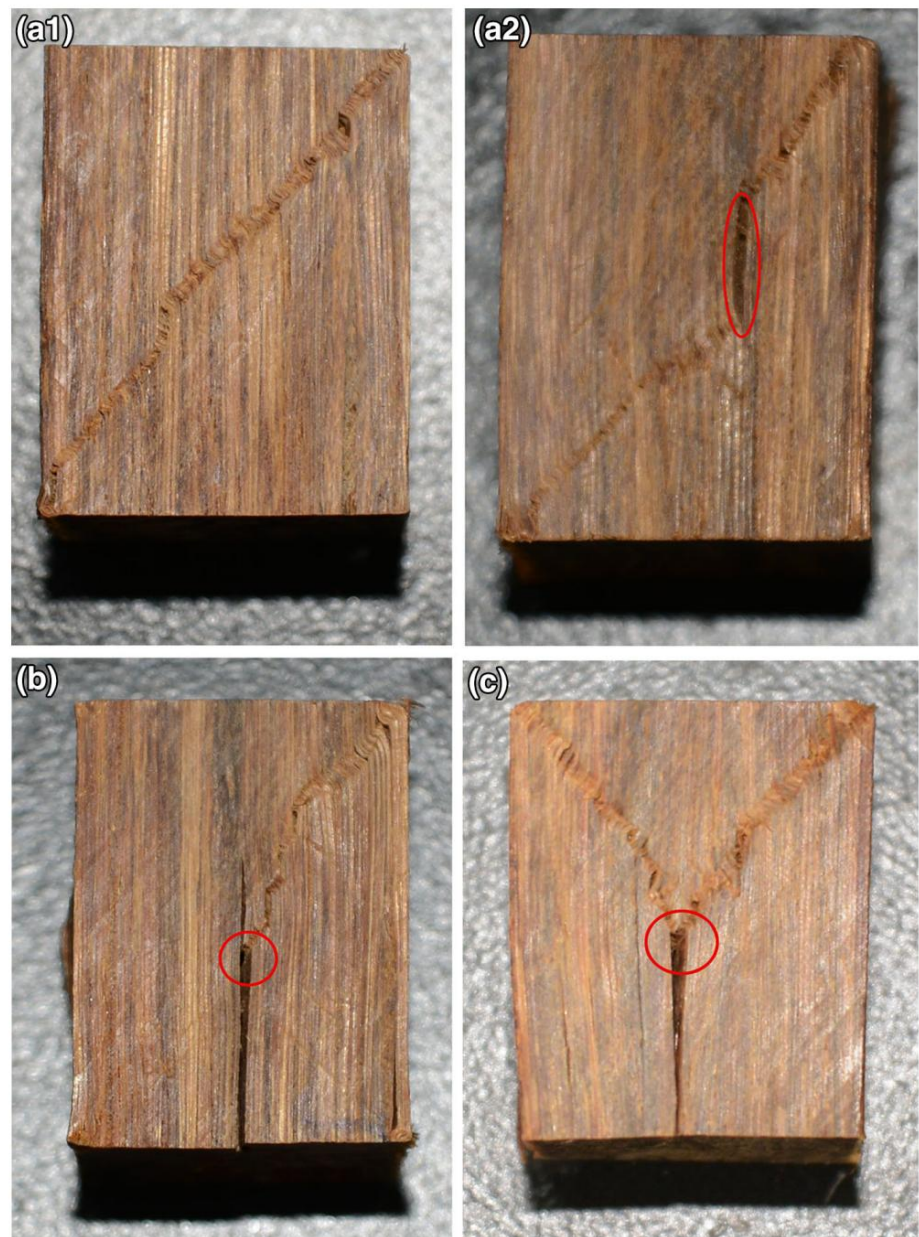


Fig. 4a1. No processo de transferência de tensão, a camada adesiva é delaminada e a tensão liberada, conforme mostrado na Fig. 4a2. Se a camada adesiva não suportar a transferência de tensão e rachar até o final, forma-se o tipo de falha de rachadura final (Fig. 4b). Para amostras de falha do tipo Y, as fibras de discordância apareceram nos dois planos de cisalhamento e se cruzaram no meio da amostra. A camada adesiva não pode suportar tensão de interseção e rachaduras no final da amostra. A folga na rachadura da amostra de falha do tipo Y é maior do que a da amostra de rachadura final.

A proporção dos três tipos de falha foi de 35,56, 24,44 e 40,00%, respectivamente. As resistências à compressão foram 104,51 MPa ($\pm 11,45$ MPa), 105,38 MPa ($\pm 12,71$ MPa),

e 104,87 MPa ($\pm 10,14$ MPa) para falha diagonal, rachadura final e falha tipo Y, respectivamente. Pode-se observar que os tipos de falha não têm efeito significativo sobre a resistência mecânica da raspadeira de bambu de controle.

Tipos de falha de amostras tratadas termicamente foram significativamente diferentes das amostras de controle (Fig. 5). Comparado com as amostras de controle, a delaminação da camada adesiva da amostra tratada termicamente foi muito mais séria. Provavelmente foi causado pela solidificação do adesivo durante o processo de evaporação da água. Os feixes de fibras fraturaram-se perfeitamente à temperatura de 170 °C; entretanto, esse fenômeno não é encontrado nas amostras de controle. A esta temperatura, a água no scrimber de bambu evaporou, causando a fragilidade



Fig. 5 Tipos de falha de resistência à compressão paralela ao grão em diferentes temperaturas. Da esquerda para a direita estão a amostra de controle e as amostras expostas a 50, 80, 110, 140, 170, 200 e 230 C por 2 h

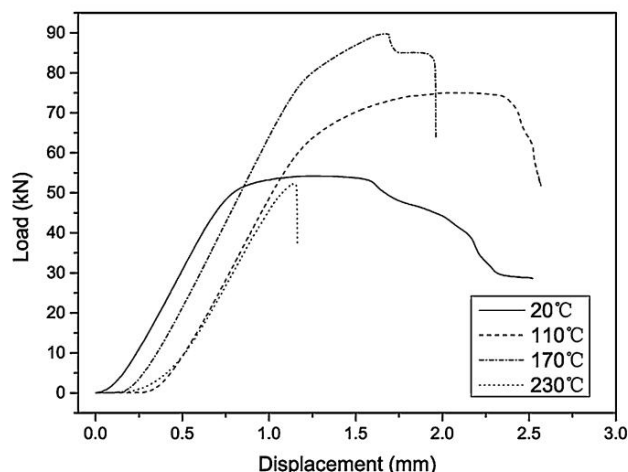


Fig. 6 Curvas de carga-deslocamento da amostra de controle e amostras tratadas termicamente

aumentou [32], e os feixes de fibras fraturaram-se ordenadamente. Feixes de fibra puxados para fora do plano de amostra a 200 e 230 C. Isso pode ser devido à degradação térmica do adesivo que não pode desempenhar um papel de ligação na amostra.

A comparação das curvas de carga-deslocamento (resistência à compressão) entre a amostra de controle e as amostras tratadas termicamente é mostrada na Fig. 6. Com o aumento da carga, a deformação plástica ocorreu na amostra de controle, conforme mostrado na Fig. 6. Fibra de deslocamento na superfície da amostra, causada pela deformação plástica, pode ser vista em todas as amostras de controle (Fig. 4). A fratura frágil tornou-se óbvia com o aumento da temperatura. O fenômeno de deslocamento da fibra diminuiu com o aumento da temperatura na Fig. 5. Isso se deve ao aumento da fragilidade após exposição a temperaturas mais altas [32]. A curva carga-deslocamento da amostra tratada termicamente a 230 C mostrou ruptura frágil sem fenômeno de escoamento e a amostra fraturou repentinamente.

As propriedades mecânicas do raspador de bambu foram afetadas significativamente pela temperatura na Fig. 7. O tratamento térmico influencia negativamente as propriedades mecânicas da madeira [33, 34]. No entanto, à medida que a temperatura aumentou, as propriedades mecânicas do raspador de bambu aumentaram primeiro e depois diminuíram. 170 C foi o ponto de virada das propriedades mecânicas do raspador de bambu sob esta condição de tratamento térmico. Força de flexão e flexão MOE

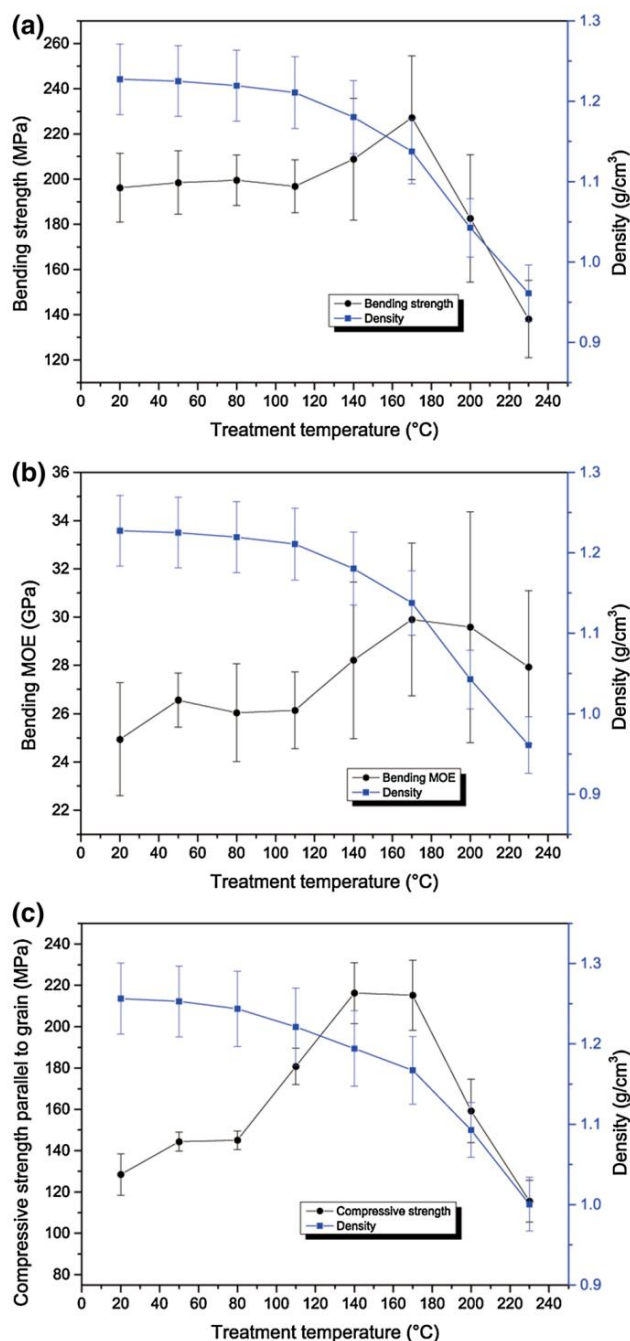


Fig. 7 Propriedades mecânicas e densidade da raspadeira de bambu em diferentes temperaturas. a Força de flexão. b Módulo de flexão do elástico (Bending MOE). c Resistência à compressão

Tabela 2 Bandas características de espectros infravermelhos de bambu escriba

Número	Número de onda (cm-1)	Localização e atribuição do pico de absorção
1	1712	C=O alongamento de xilano (hemicelulose)
2	1596	C=C alongamento do anel benzênico (resina fenólica)
3	1510	Alongamento do esqueleto de carbono do anel benzênico (resina fenólica e lignina)
4	1427	Vibrações esqueléticas aromáticas e alongamento C-H (lignina)
5	1373	C–H deformação e estiramento (celulose e hemiceluloses de bambu)
6	1108	C–H alongamento do anel aromático (resina fenólica e lignina)
7	1053	Alongamento C-O
8	897	Alongamento de carbono anomérico (C1) (celulose de bambu)

atingiu máximos em 170 C, e depois declinou. No entanto, os valores de MOE de flexão diminuídos a 230 C ainda eram maior do que a amostra de controle. Força compressiva aumentou rapidamente a 110 e 130 C, e diminuiu muito acima de 170 C. A propriedade mecânica do bambu tratado termicamente diminui ligeiramente a 150 C; no entanto, declina significativamente quando a temperatura atinge 200 C [15]. Isto é porque a alta temperatura causa certo dano na célula paredes da amostra [35]. Comparado com o bambu, as mudanças nas propriedades mecânicas do scrimber de bambu são provavelmente por causa do adesivo nele. Como pode ser visto da Fig. 7, não há correlação óbvia entre densidade e propriedades mecânicas em ambiente de temperatura relativamente baixa. No entanto, as propriedades mecânicas diminuiu quando a densidade diminuiu significativamente acima 170C.

Os tipos de cor e falha refletem até certo ponto a força desempenho do raspador de bambu tratado termicamente sob este condição experimental. Os espécimes tiveram alta mecânica propriedades quando os feixes de fibra fraturaram perfeitamente (170 C). A cor das amostras a 200 e 230 C era muito mais escura do que outras amostras, e a resistência mecânica tornou-se baixa quando a cor mudou para marrom, obviamente.

Análise FTIR e componentes químicos

A Tabela 2 e a Fig. 8 são bandas características e FTIR espectrograma de scrimber de bambu. Não houve significativo diferença das curvas FTIR entre 20 e 110 C. Relativo intensidades do pico em 1373 cm-1 , representando C–H deformação e estiramento de celulose e hemiceluloses, diminuiu ligeiramente a 170 C. No entanto, para resina fenólica, reação de reticulação prossegue rapidamente quando a temperatura atinge 150 C [36]. Então, uma estrutura tridimensional redes, com alta resistência mecânica, podem ser formadas por solidificação. A resistência mecânica do carvão ativado esférico derivado de resina fenólica atinge o máximo quando a temperatura atingiu 180 C [36]. Portanto, mecânica propriedades do riscador de bambu atingiram o máximo em 170 C provavelmente devido à cura da resina fenólica no interior do

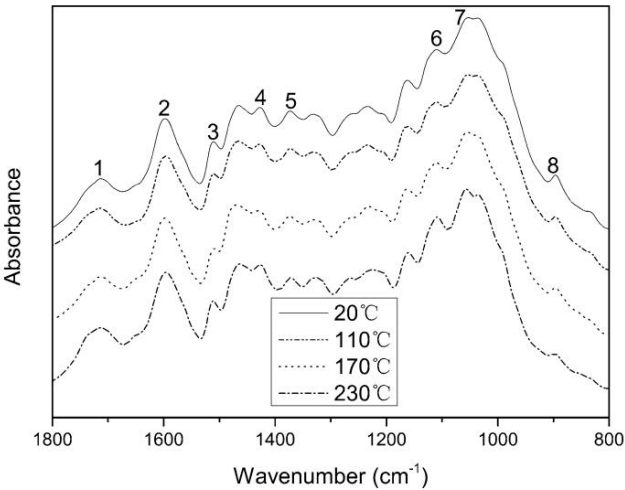


Fig. 8 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) de riscador de bambu em diferentes temperaturas

material. A tendência dos picos para 230 C foi semelhante à 170 C, mas a degradação foi mais intensa. Na Tabela 3, as razões são intensidades relativas de picos em 1596, 897, 1712 e 1427 cm-1 contra o pico em 1108 cm-1 . Proporções de altura de pico entre 1596 cm-1 (resina fenólica) e 1108 cm-1 diminuíram conforme a temperatura subiu. Não houve diferença significativa da altura do pico razão entre 20 e 110 C, na qual água, fenol livre, e formaldeído livre volatilize [24]. No entanto, significativo existiam diferenças entre as amostras de 170 e 230 C. A resina fenólica decompõe-se mais gravemente a 230 C, porque a diferença da razão de altura de pico entre 170 e 230 C foi maior do que entre 110 e 170 C. Regularidade da cadeia molecular da resina fenólica diminuída quando a temperatura está acima de 180 C. Isto é devido a degradação de hexametilenotetramina em amônia e metileno [36]. Tendência das razões de altura de pico entre 897 cm-1 (celulose de bambu) e 1108 cm-1 é semelhante para as razões entre 1596 e 1108 cm-1 , mostrando degradação da celulose de bambu em alta temperatura. Esse é consistente com a intensidade relativa diminuída em

Tabela 3 Intensidades relativas de C–O e C1 que se estendem contra o típico bandas

Temperatura (C)	I1596/I1108	I897/I1108	I1712/I1108	I1427/I1108
20	4,98 (a)	0,93 (a)	1,85 (b)	0,78 (a)
110	4,95 (a)	0,84 (a)	2,11 (a)	0,73 (a)
170	4,41 (b)	0,61 (b)	1,59 (c)	0,71(a)
230	2,92 (c)	0,25 (c)	1,28 (d)	0,71(a)

895 cm⁻¹ , representando celulose em bambu, após aquecimento tratamento (200 C) [21]. As razões entre 1712 cm⁻¹ (hemicelulose) e 1108 cm⁻¹ aumentaram a 110 C e mostrou diferença significativa entre 20 e 110 C. pode ser devido ao processo carbonizado de feixes de fibra de bambu a 115 C, em que as hemiceluloses são mais suscetíveis do que celulose e lignina [31]. Quando o escriba de bambu foi aquecido a 110 C, o teor de hemiceluloses permaneceu inalterada e a resina fenólica foi afetada, então a proporção entre eles subiu. Como a temperatura continuou a subir, as hemiceluloses se decompuseram e as proporções diminuíram. Alongamento de grupo carbonila não conjugado em xilana de bambu hemiceluloses diminuíram após o tratamento térmico, indicando que as polioses são consideravelmente mais suscetíveis a degradação do que outros componentes de bambu [21]. Proporções de 1427 cm⁻¹ (lignina) contra 108 cm⁻¹ diminuíram com o aumento da temperatura; no entanto, não há diferenças significativas existiu entre 20, 110, 170 e 230 C. É provável que A lignina é mais difícil de decompor do que o polissacarídeo [37]. Teor relativo de lignina em bambu tratado termicamente amostras aumenta à medida que a temperatura atinge 200 C devido a redução da quantidade relativa de celulose [21]. Pode ser explicou que o declínio da resistência mecânica foi devido início da degradação do bambu e da resina fenólica em alta temperatura (200 C).

Conclusão

- 1. O aumento da temperatura pode causar peso e densidade de scrimber de bambu diminuindo. O efeito foi ótimo de 170 a 230 C. A absorção de umidade para amostras tratadas termicamente aumentou progressivamente quando a temperatura excedeu 200 C.
- 2. Não há efeito significativo dos tipos de falha sobre resistência mecânica das amostras de controle. No entanto, propriedades mecânicas do scrimber de bambu tratado termicamente atingiu máximos quando os feixes de fibras fraturaram ordenadamente neste ambiente de experimento. Ocorreu deformação plástica durante o processo de compressão para o amostra de controle. A falha frágil tornou-se mais óbvia com o aumento da temperatura para amostras tratadas termicamente.

- 3. Nesta pesquisa, a solidificação do adesivo no interior do material foi a principal razão para o aumento da mecânica propriedades. Degradação de resina fenólica e bambu em alta temperatura resultou no declínio da resistência mecânica propriedades. Fatores que afetam o tratamento térmico do bambu scrimber deve ser mais estudado.

Agradecimentos Este trabalho conta com o apoio financeiro da Programa Pilar Nacional de Ciência e Tecnologia durante o 12º Período do Plano de 5 anos: Pesquisa e Demonstração de fabricação tecnologias para materiais de construção de bambu verde (2012BAD23B01) e o Start-up Fund da Northwest A&F University (2452015346).

Acesso Aberto Este artigo é distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que você dê crédito apropriado ao(s) autor(es) original(is) e à fonte, fornecer um link para a licença Creative Commons e indique se as alterações foram feito.

Referências

1. Wang ZH (2001) O estudo sobre a variabilidade da madeira de bambu propriedades e relação com seus processamentos (em chinês). Dissertação, Academia Chinesa de Silvicultura, Pequim

2. Yu Y, Huang X, Yu W (2014) Um novo processo para melhorar o rendimento e desempenho mecânico do compósito reforçado com fibra de bambu por meio de tratamentos mecânicos. Composições Parte B 56:48–53

3. Coleman JD, Hills S (1980) Reconsolidated wood product. NÓS Patente 4232067

4. Coleman JD (1981) Uma madeira "reconsolidada" para estruturas propósitos. Divisão de Tecnologia Química CSIRO, Austrália, pp 1–10

5. Li XZ (2013) Pesquisa sobre o desempenho do rolamento da junta do parafuso para bambu recombinante (em chinês). Dissertação, Academia Chinesa de Silvicultura, Pequim

6. Wang SG, Hua YK (1991) Pesquisa sobre o processo de fabricação de cortador de bambu (em chinês). China Wood Ind 5:14–18

7. Wang JX (1989) Bamboo scrimber—nova tecnologia, novo profissional duto (em chinês). China Wood Ind 3:54–55

8. Ye LM, Ye JH, Jiang ZH, Ma XQ (1996) Pesquisa sobre bambu placa de escriba. J Bambu Res 15:58–65

9. Yu WJ (2011) Desenvolvimento de compósitos à base de fibra de bambu (em chinês). China Wood Ind 25:6–8

10. Shangguan WW (2015) Modelos de resistência de cortador de bambu para propriedades compressivas. J Wood Sci 61:120–127

11. Kwon JH, Shin RH, Ayilimis N, Han TH (2014) Propriedades de madeira maciça e madeira laminada fabricada pela Cold prensagem e tratamento térmico. Mater Des 62:375–381

12. Li T, Cheng DL, Wajlinder ME, Zhou DG (2015) Molhabilidade de bambu tratado termicamente com óleo e força de ligação de laminado tábuas de bambu. Ind Crop Prod 69:15–20

13. Hakkou M, Pétrissans M, Zoulalian A, Gerardin P (2015) Investigação de mudanças na molhabilidade da madeira durante o tratamento térmico com base em análises químicas. Esfaqueamento de Degradação de Polym 89:1–5

14. Yildiz S, Tomak ED, Yildiz UC, Ustaomer D (2013) Efeito de intemperismo artificial nas propriedades da madeira tratada termicamente. Esfaqueamento de Degradação de Polym 98:1419–1427

15. Bao YJ (2009) Pesquisa sobre os principais componentes químicos, propriedades físicas e mecânicas do bambu após tratamento (em chinês). Dissertação, Universidade Florestal de Nanjing, Nanquim

16. Sharma B, Gatoó A, Bock M, Ramage M (2015) Bambu projetado para aplicações estruturais. *Constr Build Mater* 81:66–73
17. Padrão Nacional Chinês GB 1936.2–2009 (2009) Método para determinação do módulo de elasticidade na flexão estática de madeira (em chinês). Administração de Padronização da China, Pequim
18. Norma Nacional Chinesa GB 1935–2009 (2009) Método de ensaio de resistência à compressão paralela ao veio da madeira (em chinês). Administração de Padronização da China, Pequim
19. Padrão Nacional Chinês GB 1936.1–2009 (2009) Método de teste de resistência à flexão da madeira (em chinês). Administração de Padronização da China, Pequim
20. Windeisen E, Strobel C, Wegener G (2007) Alterações químicas durante a produção de madeira de faia tratada termicamente. *Wood Sci Technol* 41:523–536
21. Meng F, Yu Y, Zhang Y, Yu W, Gao J (2016) Análise da composição química da superfície de bambu tratado termicamente. *Appl Surf Sci* 371:383–390
22. Mburu F, Dumarçay S, Bocquet JF, Petrisans M, Gerardin P (2008) Efeito das modificações químicas causadas pelo tratamento térmico nas propriedades mecânicas da madeira de *Grevillea robusta*. *Polym Degrad Stab* 93:401–405
23. Shao S, Wen G, Jin Z (2008) Mudanças nas características químicas de componentes de bambu (*Phyllostachys pubescens*) durante a explosão de vapor. *Wood Sci Technol* 42:439–451
24. Liu S, Li X, Zou H, Liu P (2012) Mudanças na estrutura e propriedades da espuma fenólica durante o tratamento térmico em alta temperatura. *Tecnologia Plast Sci* 40:56–59
25. Tomak ED, Ustaomer D, Yildiz S, Pesman E (2014) Mudanças na superfície e propriedades mecânicas da madeira tratada termicamente durante o intemperismo natural. *Medição* 53:30–39
26. Pandey KK (2005) Estudo do efeito da fotoirradiação na química da superfície da madeira. *Esfaqueamento de Degradação de Polímero* 90:9–20
27. Sharratt V, Hill CAS, Kint DPR (2009) Um estudo de mudança de cor precoce devido à exposição à luz solar acelerada simulada em pinheiro-alvar (*Pinus sylvestris*). *Polym Degrad Stab* 94:1589–1594
28. Kubovsky I, Kacýř F (2014) Alterações de cor e química da superfície da madeira de tília devido à modificação térmica do laser de CO₂. *Appl Surf Sci* 321:261–267
29. Shen Y, Wang Y, Tang Y, Li Y (2013) O mecanismo de descoloração induzida de bambu tratado termicamente a alta temperatura. *J Bambu Res* 32:42–45
30. Akkuş M, Guşmuskaya E, Korkut S (2007) Estrutura cristalina do pinheiro escocês tratado termicamente [*Pinus sylvestris* L.] e abeto Uludag [*Abies nordmanniana* (Stev.) subsp. *Bornmuelleriana* (Mattf.)] madeira. *Wood Sci Technol* 41:281–289
31. Liu YX, Zhao GJ (2004) Ciência dos materiais de madeira. Chinês para esty Press, Pequim, pp 107–118
32. Phuong LX, Shida S, Saito Y (2007) Efeitos do tratamento térmico na fragilidade da madeira de *Styrax tonkinensis*. *J Wood Sci* 53:181–186
33. Kocaefe D, Poncsak S, Tang JJ, Bouazara M (2010) Efeito do tratamento térmico nas propriedades mecânicas do pinheiro de jaque norte-americano: estudo termogravimétrico. *J Mater Sci* 45:681–687
34. Korkut DS, Guller B (2008) Os efeitos do tratamento térmico nas propriedades físicas e rugosidade da superfície da madeira de bordo rebrotado (*Acer trautvetteri* Medw.). *Bioresour Technol* 99:2846–2851
35. Priadi T, Hizioglu S (2013) Caracterização de tratamento térmico espécies de madeira. *Mater Des* 49:575–582
36. Yang JB, Ling LC, Liu L (1999) Influências das condições de cura e carbonização na resistência mecânica e propriedades de adsorção de carvão ativado esférico derivado de resina fenólica. *Carbon Tech* 102:10–14
37. Yang H, Yan R, Chen H, Lee DH, Zheng C (2007) Características da pirólise de hemicelulose, celulose e lignina. *Combustível* 86:1781–1788