



Cite isto: RSC Adv., 2020, 10, 43438

Avaliando as influências abrangentes do tratamento térmico e polidimetilsiloxano no desempenho integrado da madeira de bambu

Ying Zhang,[†] Xin Zhang,[†] Youming Yu,^a Wenbo Che,^a Xiaochun Zhang e Junfeng Hou^{*ab}



Recebido em 13 de outubro de 2020

Aceito em 25 de novembro de 2020

DOI: 10.1039/d0ra08713k

rsc.li/rsc-advances

O objetivo principal deste trabalho é analisar a influência do tratamento térmico com polidimetilsiloxano no desempenho integrado da madeira de bambu. A madeira de bambu foi tratada termicamente usando polidimetilsiloxano como meio a 120, 150, 180 e 210 °C por 3 h neste estudo. Os resultados revelaram que o teor de umidade de equilíbrio (EMC) e a razão de inchamento linear de espécimes de bambu tratados termicamente diminuíram notavelmente com o aumento da temperatura de tratamento térmico. O ângulo de contato superficial da água nos espécimes de bambu aumentou com o aumento da temperatura de tratamento térmico, indicando a redução da molhabilidade com a água. Além disso, o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) foram diminuídos com o aumento da temperatura de tratamento térmico e menor do que a dos corpos de prova não tratados. A cristalinidade da celulose dos espécimes de bambu diminuiu ligeiramente com o aumento da temperatura do tratamento térmico. Os resultados do TG-DTG ilustraram uma redução no teor relativo de hemicelulose e aumento no teor relativo de lignina e celulose dos espécimes de bambu com o aumento da temperatura de tratamento térmico. A presença da vibração de estiramento Si-C em Si-CH₃ indicou a ligação do siloxano à madeira de bambu formando ligações covalentes. A cor da madeira de bambu tratada termicamente foi ainda mais profunda após o tratamento térmico, dotando a madeira de bambu com melhor desempenho de

1. Introdução

O bambu é tradicionalmente aplicado na fabricação de compensados de bambu, aglomerados e aglomerados de madeira devido à sua boa reprodutibilidade, alta resistência mecânica, bom desempenho de processamento, biodegradabilidade superior e características ambientais.^{1–4} O painel à base de bambu tem sido amplamente utilizado na fabricação de móveis, pisos e construção nos últimos anos. No entanto, deficiências do bambu, como não uniformidade estrutural, anisotropia, instabilidade dimensional, encolhimento e inchaço por umidade, e sua alta suscetibilidade à degradação por fungos representam uma séria ameaça à resistência e à qualidade do produto de bambu. modificar os materiais de bambu para melhorar a estabilidade dimensional correspondente e a hidrofobicidade da superfície é de grande significância.

Em vista da deficiência de baixa estabilidade dimensional, retração, inchamento por umidade e sua alta suscetibilidade à degradação por fungos, vários métodos de tratamento, como tratamento térmico,^{6–8} tratamento de acetilação⁹ e acabamento superficial

revestimentos¹⁰ têm sido aplicados para melhorar a estabilidade dimensional e hidrofobicidade superficial dos materiais de bambu. Entre os quais, o tratamento térmico é um excelente método para melhorar o desempenho integrado dos materiais de bambu.^{11–13} Foi relatado que a diferença de cor, resistência às intempéries, estabilidade dimensional, mecânica física e química, durabilidade dos materiais de bambu foi melhorada alterando a superfície estrutura ou composição química de materiais durante a modificação térmica em várias temperaturas aumentadas.¹³ A reação de carbonização também foi observada para a madeira de bambu em um ambiente inerte sem oxigênio em um processo de alta temperatura e alta pressão. Das pesquisas anteriores, óleo,^{14,15} gás de combustão,¹ vapor,¹⁶ ácido e alcalino^{17,18} sempre foram selecionados como meios de tratamento térmico para completar o processo de tratamento térmico de materiais de bambu. Foi relatado que o teor relativo de hemicelulose na madeira de bambu foi geralmente diminuído, e o teor relativo de celulose aumentou durante o tratamento térmico.¹⁹ O teor relativo de lignina também aumentou, ajudando a melhorar a estabilidade dimensional, repelência à água e resistência ao oídio de materiais de bambu tratados termicamente.¹⁴ Muitas pesquisas têm sido realizadas para analisar as influências da temperatura de tratamento térmico, tempo de tratamento e meio de tratamento no desempenho físico-químico dos materiais de bambu.^{15,20, 21} Enquanto isso, o polidimetilsiloxano tem desempenhado um papel cada vez mais importante na preparação de materiais resistentes ao calor e

^a Escola de Engenharia, Zhejiang A & F University, Hangzhou, Zhejiang 311300, PR China. E-mail: 20110039@zafu.edu.cn; houjunfeng@zafu.edu.cn

^b Centro de inovação colaborativa da província de Zhejiang para recursos de bambu e utilização de alta eficiência, Hangzhou, 311300, PRChina

[†] Esses autores contribuíram igualmente para o trabalho.

enchimentos à prova de umidade devido à sua excelente resistência à umidade, boa transmissão de luz e excelente desempenho de estabilidade química. Análise das influências do tratamento a alta temperatura com óleo como meio sobre o teor de amido e mofo

A propriedade de resistência revelou que o teor de amido do espécime de bambu tratado termicamente usando óleo como meio foi menor do que o bambu não tratado, e a propriedade de resistência ao molde de bambu foi obviamente melhorado após o tratamento térmico com óleo como meio.²² Foi revelado que a cor da madeira de bambu tratado termicamente usando polidimetilsiloxano como meio foi ainda se aprofundou com o aumento do tempo de tratamento térmico.²³ No entanto, nenhum esforço de pesquisa foi encontrado que estudasse as propriedades físico-químicas da madeira de bambu tratada termicamente com polidimetilsiloxano como meio. É necessário um esforço de investigação para explorar as influências abrangentes da alta temperatura tratamento e polidimetilsiloxano nas propriedades físico-químicas da madeira de bambu.

Este estudo teve como objetivo explorar os efeitos do tratamento térmico usando polidimetilsiloxano como meio em abrangente desempenho da madeira de bambu. Efeito do tratamento térmico temperatura física, mecânica, química e de cor variedade de materiais de bambu foi investigada. Um bambu melhor processo de modificação é obtido para aumentar a resistência, estabilidade dimensional, desempenho de decoração de superfície e impermeabilização propriedade de materiais de bambu, com a esperança de fornecer base técnica para promover o uso eficiente do bambu materiais.

2. Materiais e métodos

2.1 Preparação de espécimes de bambu para tratamento térmico

Colmos de bambu (*Phyllostachys heterocycle*) com cinco anos foram comprado do distrito de Lin'an na cidade de Hangzhou de Zhejiang província, China. As hastes de bambu frescas foram serradas em tiras com a dimensão de 250 mm (comprimento, L) 20 mm (largura, W) 5 mm (espessura, T). As tiras de bambu frescas foram secas ao ar para o teor de umidade (MC) de 12 0,5% antes do tratamento térmico. Todas as tiras de bambu preparadas foram divididas igualmente em 5 grupos com 12 espécimes em cada grupo.

2.2 Tratamento térmico com polidimetilsiloxano de bambu materiais

Tratamento térmico para 4 grupos de tiras de bambu com polidimetilsiloxano (tipo 201, viscosidade 1000 MPa s (250 C), Shanghai TITAN Technology Co. Ltd) como meio foram realizados em um tanque de imersão em banho de óleo caseiro. As amostras foram colocadas em polidimetilsiloxano frio e aquecido por um óleo caseiro tanque de imersão do banho até a temperatura do polidimetilsiloxano foi aumentado para o tratamento térmico predefinido. O calor predefinido a temperatura de tratamento foi de 120, 150, 180 e 210 C, respectivamente. O tempo de espera do processo de tratamento foi de 3 h. As amostras tratadas termicamente foram retiradas do polidimetilsiloxano quente e resfriadas até a temperatura ambiente. o as tiras de bambu foram secas antes e após o tratamento térmico com polidimetilsiloxano para garantir a absorção total do polidimetilsiloxano pelas tiras de bambu.

2.3 Medição de propriedades físicas e mecânicas

Os espécimes de bambu tratados termicamente e não tratados foram cortados em um tamanho de 20 mm (L) 20 mm (W) 5 mm (T) para investigar EMC e razão de inchamento. 12 espécimes replicados para cada tipo foram medidos para análise de resultados de EMC e razão de inchamento. o valores apresentados para EMC e razão de inchamento foi a média valor. Os espécimes de bambu foram processados em atmosfera ambiente com temperatura de 17,5 C e relativa umidade (UR) de 69,6%, por trinta dias e pesadas. E então os espécimes inteiros foram secos a 103 2 C em um forno de secagem (DKN611 Yamato Scientific Co. LTD. Tokyo Japan) para analisar peso e parâmetros de dimensão em comprimento, largura e orientação da espessura no estado seco em estufa.

Todos os espécimes de bambu foram divididos em 3 grupos. Dimensão e teor de umidade (MC) dos espécimes foram investigado a 20 C/30% RH, 20 C/65% RH e 20 C/85% RH condição em uma câmara de temperatura-umidade constante (LHU 113 ESPEC CORP Tokyo Japan), e os valores numéricos de espécimes individuais foram medidos periodicamente até constante leitura alcançada. A densidade seca ao ar foi calculada de acordo com com o peso da amostra em g e parâmetros dimensionais em cm em um estado de equilíbrio com RH de 65% a 20 C.

Amostras de bambu tratadas termicamente e não tratadas foram cortadas em um tamanho de 120 mm (L) 20 mm (W) 5 mm (T) para determinação de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) de acordo com GB/T 15780-1995: Métodos de teste para e propriedades mecânicas dos bambus.²⁴ Antes da testes de propriedades mecânicas, as amostras testadas foram processadas para o teor de umidade de equilíbrio (EMC) de 12% a um ambiente controlado de 20 C/65% RH em um alto-baixo caixa de teste de umidade alternada (EL-10KA, Espec Corporation, EUA). Um total de 12 espécimes de bambu para testes de flexão (MOR e MOE) foram medidos para a análise dos resultados finais. o os valores apresentados para os testes MOR e MOE foram a média valor.

2.4 Análise do ângulo de contato da água no espécime de bambu

Amostras de bambu no grupo tratado termicamente e controle foram cortado em um tamanho de 60 mm (L) 5 mm (W) 5 mm (T) para a determinação do ângulo de contato da água. Antes dos testes, o amostras testadas foram processadas para EMC (12%) em um pré-ajuste ambiente (20 C/65% RH) em uma umidade alta-baixa alternando caixa de teste (EL-10KA, Espec Corporation, EUA). Contato de superfície O ângulo da água no espécime de bambu foi investigado por um instrumento automático de medição de ângulo de contato (TBU100, Data physics Instrument Co. Ltd. German). Seis espécimes replicados para cada tipo foram medidos para a análise do ângulo de contato de água no espécime de bambu. Cinco pontos para cada corpo de prova foram testado e os valores apresentados foram o valor médio de 30 replicar dados.

2.5 Análise de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A análise de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) foi realizado usando uma espectroscopia (Nicolet 6700, Nicolet Co. Ltd. EUA) em frequências que variam de 400 cm. o ¹ a 4000 centímetros ¹



comprimido comprimido para teste FTIR foi preparado misturando 1 mg de pós de bambu no estado seco em estufa selecionado por uma peneira de 80-120 mesh com 99 mg de brometo de potássio (KBr).⁵

2.6 (difração de raios X) Análise de DRX O

teste foi realizado usando um analisador de difração de raios X (XRD-6000, Shimadzu, Japão) com radiação de Cu (40 kV e 30 mA). Antes do teste de DRX, 0,2 g de pós de bambu no estado seco em estufa foram selecionados por uma peneira de 80-120 mesh. A varredura 2 θ variou de 5 a 90 em um passo de 2 min

2.7 Medição TG-DTG

Para a análise térmica simultânea (STA 409 C, NETZSCH Company, German), 10 mg de pós de bambu foram colocados em um cadinho de Al₂O₃ e medidos por aquecimento de 20 C a 800 C com uma taxa de aquecimento de 10 C min em atmosfera de Nitrogênio. A TG e DTG (Termogravimetria Derivada) foram registradas em todo o processo de teste.

2.8 Medição de cor

A cor da superfície de amostras tratadas termicamente e não tratadas foi medida pelo colorímetro automático DC-P3 novo tipo de acordo com o sistema de cores CIE L*a*b* com um diâmetro de círculo medido de 10 mm e fonte de luz de Standard Illuminant D65. 20 amostras replicadas para cada tipo foram medidas para análise de resultados de medição de cor. Os valores apresentados para diferença de cor foi o valor médio.

Entre os quais, L* é o parâmetro de luminosidade, a* é o croma de verde para vermelho e b* é o croma de azul para amarelo.²⁵ A diferença de cor pode ser calculada usando a eqn (1):²⁵

$$DE^* = \frac{1}{2} \sqrt{\Delta L^*{}^2 + \Delta a^*{}^2 + \Delta b^*{}^2} \quad (1)$$

onde, DE* é a diferença de cor, DL* é a diferença de luminosidade e Da* e Db* são as diferenças de croma. D significa as diferenças entre os parâmetros iniciais e finais dos corpos de prova após o tratamento térmico.

3 Resultados e discussão

3.1 Análise de desempenho de física e mecânica

A Fig. 1 apresenta a influência da temperatura de tratamento térmico na EMC do espécime de bambu. Um aumento gradual foi observado para a EMC do espécime de bambu tratado termicamente com o aumento da umidade do ambiente. Além disso, a EMC das amostras tratadas foi obviamente reduzida com o aumento do tratamento térmico

temperatura.²¹ A madeira de bambu é composta principalmente de celulose, hemicelulose e lignina. A higroscopicidade do bambu está relacionada aos grupos hidroxila livres presentes na celulose e na hemicelulose.²⁶ A taxa de migração da água de ligação da superfície do bambu aumentou com o aumento da temperatura. Entre os quais, a remoção gradual do grupo hidroxila livre é a principal razão pela qual a EMC de espécimes de bambu foi diminuída com o aumento da temperatura de tratamento térmico.

As influências da temperatura do tratamento térmico na razão de inchamento linear dos espécimes de bambu estão ilustradas na Tabela 1. Foi

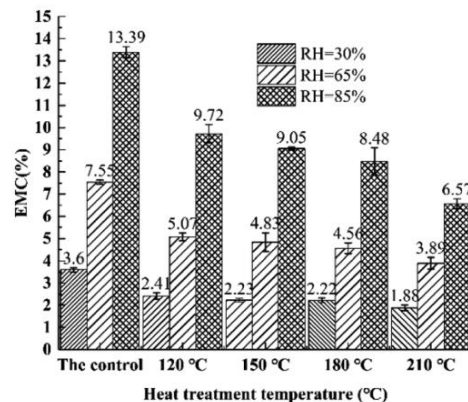


Fig. 1 Efeitos da temperatura de tratamento térmico na EMC de espécimes de bambu.

indicaram que a taxa de inchamento linear dos espécimes foi efetivamente reduzida após o tratamento de alta temperatura com polidimetilsiloxano como meio. Em comparação com as amostras não tratadas, a taxa de dilatação tangencial das amostras após o tratamento a 120, 150, 180 e 210 C foi diminuída em 30,85%, 36,17%, 52,13%, 59,57%, respectivamente, a 20 C e 30% UR.

A razão de inchaço na orientação radial foi diminuída em 7,69%, 17,86%, 28,57% e 40,00%, respectivamente. E a taxa de inchaço longitudinal foi diminuída em 9,38%, 15,63%, 21,88% e 52,38%, respectivamente. Foi indicado que um aumento óbvio na razão de intumescimento tangencial e radial foi observado devido à anisotropia e estrutura do próprio bambu.^{4,27,28} No entanto, os valores correspondentes da razão de intumescimento ao longo da orientação longitudinal não foram. A razão de intumescimento linear diminuiu com o aumento da temperatura de tratamento térmico.

Portanto, a estabilidade dimensional dos espécimes de bambu foi efetivamente melhorada com tratamento de alta temperatura usando polidimetilsiloxano como meio. E quanto maior a temperatura, melhor é o desempenho de estabilidade dimensional dos corpos de prova testados.

A Fig. 2 apresenta a influência da temperatura de tratamento térmico na densidade do espécime de bambu. Obviamente, a densidade das amostras tratadas termicamente aumentou com o aumento da temperatura de tratamento térmico para 150 C e diminuiu com o aumento adicional da temperatura de tratamento térmico. Pode-se supor que a mudança de densidade da amostra testada foi obviamente influenciada pelo sinergismo do polidimetilsiloxano e pela decomposição do tratamento de alta temperatura. O efeito do polidimetilsiloxano é dominante na faixa de temperatura de 120 a 150 C.

A impregnação de células de amostra de bambu com poli dimetilsiloxano, levando ao aumento do peso da amostra de bambu e resultando em um leve aumento de densidade durante o tratamento térmico. Também foi observado que a pirólise violenta foi observada para gerar materiais de bambu, levando ao declínio geral da densidade do bambu com o aumento da temperatura de 150 para 210 C.^{29,30} A Fig. 3 apresenta os efeitos da temperatura do tratamento térmico no módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) do espécime de bambu. Conforme ilustrado na figura, MOR de

Tabela 1 Efeitos da temperatura do tratamento térmico na proporção de inchamento de espécimes de bambu

	UR ¼ 30%										UR ¼ 65%										UR ¼ 85%										
Tratamento térmico temperatura/°C	TRLTRLTRL																														
O controle	0,94	0,13	1,40	0,21	0,32	0,04	1,32	0,15	1,46	0,25	0,33	0,05	2,72	0,35	2,49	0,42	0,40	0,04													
120	0,65	0,09	1,30	0,18	0,29	0,02	0,86	0,09	1,38	0,30	0,31	0,04	2,32	0,27	1,87	0,23	0,38	0,05													
150	0,60	0,11	1,15	0,09	0,27	0,15	0,73	0,06	1,18	0,19	0,30	0,01	2,19	0,29	1,76	0,15	0,33	0,02													
180	0,45	0,06	1,00	0,11	0,26	0,02	0,61	0,05	1,04	0,13	0,26	0,02	1,32	0,33	1,64	0,18	0,32	0,04													
210	0,38	0,02	0,84	0,07	0,22	0,01	0,48	0,04	0,86	0,10	0,22	0,03	0,97	0,14	1,57	0,12	0,28	0,05													

amostras diminuiu continuamente com o aumento do calor temperatura de tratamento. Com o aumento do tratamento térmico temperatura para 120, 150, 180 e 210 °C, o correspondente redução foi de 0,12%, 1,07%, 2,63% e 5,79% na comparação com espécimes não tratados. Comparado com as amostras não tratadas, um aumento de 8,07% foi gerado para MOR de bambu espécimes tratados termicamente a 120 °C. Enquanto isso, foi apenas ligeiramente reduzido em 4,86% com o aumento adicional de calor temperatura de tratamento para 150 °C. E o correspondente decréscimo foi de 28,24% e 30,71% com o aumento adicional de temperatura de tratamento térmico para 180 e 210 °C. Isto é devido ao

gradualmente sofrem decomposição térmica do produto químico principal componente nomeadamente hemicelulose, lignina e celulose no espécimes de acordo com sua estabilidade térmica com o aumento temperatura de tratamento térmico e causar uma certa perda de massa de espécime de bambu, resultam ainda na redução das propriedades mecânicas durante o tratamento térmico.^{31,32} Foi observado que uma degradação drástica foi gerada no espécime de bambu com o aumento da temperatura de tratamento térmico e levou ao efeito óbvio na propriedade mecânica do bambu espécimes. Portanto, um aumento seguido de um declínio na propriedade mecânica do bambu foi gerada. E a redução foi observada para aumentar com o aumento do tratamento térmico temperatura de 150 a 210 °C.

Um pequeno decréscimo de 0,12% em MOR de bambu tratado termicamente

espécimes foi gerado em comparação com os não tratados espécimes. Isto é principalmente devido a uma ligeira pirólise de hemicelulose na temperatura de tratamento térmico 120 °C, enquanto os componentes químicos de celulose e lignina em espécimes foi Não mudou. Além disso, o MOE foi aumentado para o valor máximo com um aumento de 8,07% a 120 °C.

descobriu que a variedade de resistência à flexão estática era principalmente depende da assimilação do óleo, da decomposição térmica dos componentes do bambu e da evaporação da umidade durante o tratamento térmico com óleo como meio. Absorção de óleo desempenha um papel decisivo durante o estágio de baixa temperatura do calor tratamento para espécimes de bambu, e resulta na melhoria da propriedade mecânica do espécime de bambu em alguns

extensão. Além disso, a diminuição do teor de umidade (MC) causada pela evaporação da água, resultando no aumento da resistência à flexão de materiais de bambu com seu MC menor que FSP. A cristalização também foi observada para gerar xilano e manano em hemicelulose em um estágio de temperatura relativamente baixa de tratamento térmico para espécimes de bambu. Portanto, aumentando na cristalinidade de espécimes de bambu tratados termicamente levando a os aumentos das propriedades mecânicas.²⁸ Enquanto, a decomposição térmica dos materiais de bambu é intensificada, e a resistência à flexão do bambu é observada a diminuir com o aumentando ainda mais a temperatura do tratamento térmico durante a alta estágio de temperatura. Também foi descoberto por Cheng⁶ que a resistência à flexão estática do espécime de bambu depende principalmente da decomposição térmica dos componentes de bambu e óleo de silício absorvidos durante o tratamento térmico de bambu usando óleo de silicone como meio. Este último desempenha um papel mais o estágio de temperatura mais baixa, levando à geração de um aumento da resistência mecânica dos espécimes de bambu. Além do mais,

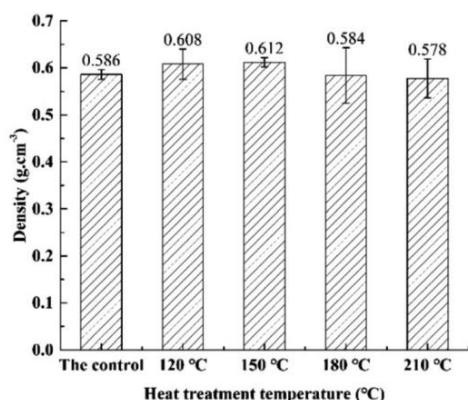


Fig. 2 Efeitos da temperatura do tratamento térmico na densidade do bambu espécimes.

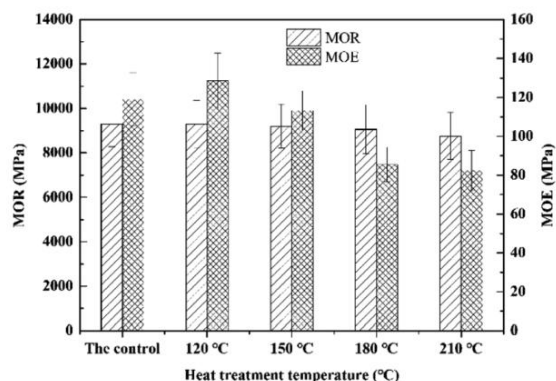


Fig. 3 Efeitos da temperatura de tratamento térmico em MOR e MOE de espécimes de bambu.

a decomposição térmica é intensificada, causando uma diminuição de resistência à flexão estática para espécimes de bambu com o aumento adicional da temperatura de tratamento térmico.

3.2 Análise do ângulo de contato da água no espécime de bambu

A Fig. 4 apresenta o ângulo de contato da água em superfícies tratadas termicamente e espécimes de bambu não tratados. Conforme ilustrado na Fig. 4, entre em contato ângulo (4°) da água nas amostras não tratadas foi extremamente pequeno devido à sua grande molhabilidade com grande quantidade de grupos hidroxila localizados na superfície de espécimes de bambu. Uma aumento gradual do ângulo de contato da água em espécimes de bambu foi observado para gerar com o aumento da temperatura de tratamento térmico. E molhabilidade com água de espécimes de bambu tratados termicamente foi diminuída adequadamente. Isso se deve a uma evidente diminuição da quantidade de grupos hidroxila livres hidrofílicos em hemicelulose e celulose com o aumento da temperatura de tratamento térmico.¹⁶ Além disso, o desempenho de molhabilidade do bambu tratado termicamente também diminuiu devido à excelente hidrofobicidade do polidimetilsiloxano.²⁷ Enquanto isso, as diferenças

nos ângulos de contato da água em espécimes de bambu também foram devidos para mudança de porosidade. A água foi rapidamente absorvida em espécimes porosos de bambu não tratados, o que também contribui para ângulos de contato baixos observados e uma vez tratado termicamente com poli dimetilsiloxano como meio, a madeira de bambu torna-se menos porosa e, a absorção de polidimetilsiloxano é menor e os ângulos de contato observados são maiores.

3.3 Análise FTIR

As curvas FTIR de espécimes de bambu tratados e não tratados são ilustrado na Fig. 5. Hemicelulose, lignina e celulose em o bambu sofrerá diferentes graus de degradação térmica durante a fase de tratamento térmico de acordo com as suas próprias estabilidade térmica.^{33,34} Como pode ser visto na Fig. 5, uma vibração de estiramento de -OH foi gerada em 3453 cm⁻¹ (Fig. 5(a)), e uma redução gradual foi observada para o intensidade de pico de absorção com o aumento do tratamento térmico temperatura. Principalmente a água de ligação foi removida do bambu amostras com a temperatura inferior a 100 C. Com o

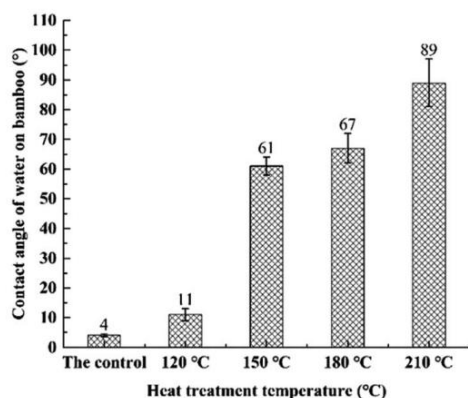


Fig. 4 Efeitos da temperatura de tratamento térmico nos ângulos de contato de espécimes de bambu.

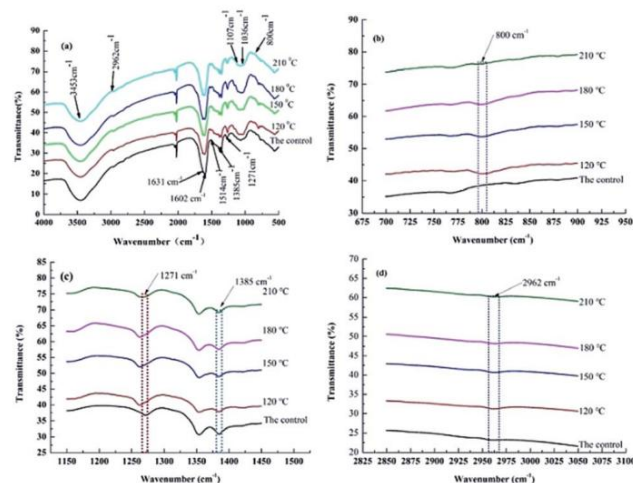


Fig. 5 Curvas FTIR de espécimes de bambu tratados termicamente em diferentes temperaturas; (a) curvas FTIR de espécimes de bambu; (b) 800 cm⁻¹; (c) 1271 centímetros⁻¹; (d) 2962 centímetros⁻¹.

aumento adicional da temperatura do tratamento térmico, desidratação reação de policondensação foi observada entre os grupos hidroxila livres na cadeia molecular de celulose de bambu amostras e levar à formação de ligação éter. Quantidade de grupos hidroxila livres em regiões não cristalinas de celulose e hemicelulose foi notavelmente reduzida, levando a uma óbvia redução da intensidade do pico de absorção de -OH. Adicionalmente, um novo pico de absorção foi observado em 2962 cm⁻¹ (Fig. 5 (d)) nas curvas FTIR de espécimes de bambu tratados termicamente, mostrando a geração de vibração de alongamento da ligação Si-C em Si-CH₃ de polidimetilsiloxano no processo de tratamento térmico com polidimetilsiloxano como meio. Vibração de alongamento de C=O em 1735 cm⁻¹ (Fig. 5(a)) foi significativamente reduzido com a aumenta a temperatura do tratamento térmico, isso é provavelmente devido à acetilação em hemicelulose.³² O pico não foi observado para gerar na curva FTIR de espécimes não tratados, conforme ilustrado em Fig. 5(a). Diminuição da intensidade no pico de absorção em 1632 cm⁻¹ foi causada pela vibração de estiramento do conjugado grupo carbonila C=O, indicando o grupo hidroxila e grupo carbonila conjugado foram destruídos após tratamento térmico com polidimetilsiloxano como meio, e a redução óbvia do teor de água adsorvida em espécimes de bambu tratados termicamente. Pico de absorção em 1602 e 1514 cm⁻¹ de vibração de estiramento do esqueleto de carbono no anel benzênico da lignina. Uma aumento gradual foi observado para a intensidade do pico de absorção com o aumento da temperatura de tratamento térmico, indicando decomposição térmica de hemicelulose em espécimes de bambu e aumento do teor de lignina em espécimes de bambu após aquecimento tratamento. Intensidade diminuindo no pico de absorção em 1385 cm⁻¹ (Fig. 5(c)) causada pela vibração de flexão de C-H em de celulose e hemicelulose indicando a decomposição térmica de celulose em espécimes de bambu. Um pico de absorção foi observado para gerar em 1271 cm⁻¹ (Fig. 5(c)) devido a vibração de alongamento do anel de base lilás e C-O na lignina e xilana.³⁵ A intensidade do pico de absorção foi aumentada com a aumento da temperatura de tratamento térmico para 120 C, e então

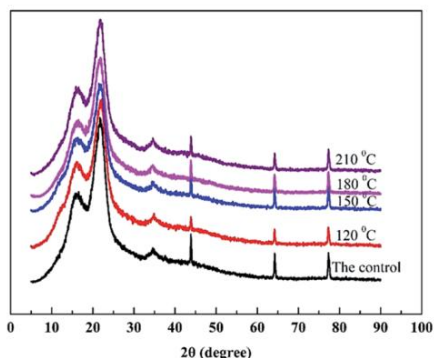


Fig. 6 Curvas XRD de espécimes de bambu antes e após o tratamento térmico.

reduzida com o aumento da temperatura do tratamento térmico. Isso pode ser atribuído à decomposição térmica da hemicelulose e ao aumento do teor relativo de lignina em um estágio de temperatura mais baixa. A degradação térmica da lignina ocorreu em grande medida com o aumento da temperatura de tratamento térmico. A diminuição do teor relativo de lignina resultou na redução do valor do pico de absorção.

O pico de absorção em 1107 e 1036 cm (Fig. 5(a)) ilustra principalmente a presença de vibração de estiramento da ligação C–O–C e C–O na celulose. E a geração do pico de absorção foi 2962 800¹ cm (Fig. 5(b)) e 1000 cm (Fig. 5(c)) observada em espécimes de bambu de tratamento térmico em 120 °C, 150 °C, 180 °C e 210 °C de polidimetilsiloxano, indicando a ligação do siloxano à madeira de bambu pela formação de ligações covalentes.

3.4 Análise de XRD

As curvas de DRX de amostras de bambu tratadas e não tratadas são apresentadas na Fig. 6. A cristalinidade da celulose de amostras de bambu tratadas e não tratadas em diferentes temperaturas de tratamento térmico foi geralmente determinada pelo método de Segal.¹¹ Verificou-se que os picos de difração do plano 002 de bambu variando de 178 °C a 264 °C, e resultou na

os espécimes foram concentrados em torno de 22°, indicando que a aplicação do tratamento térmico utilizando polidimetilsiloxano como meio não altera o espaçamento interplanar da região do cristal de celulose em espécimes de bambu. No entanto, o tamanho do pico de difração diminuiu ligeiramente com o aumento da temperatura do tratamento térmico. Em comparação com os espécimes não tratados (50,34%), a cristalinidade da celulose dos espécimes de bambu tratados termicamente a 120, 150, 180 e 210 °C diminuiu 2,74%, 7,47%, 1,63% e 1,25%, respectivamente. Isso se deve principalmente à geração de ácido acético causada pela hidrólise da hemicelulose em amostras de bambu tratadas termicamente no processo de tratamento térmico, criando um ambiente ácido, que faz com que as microfibrilas de celulose se degradem até certo ponto, causando uma redução na cristalinidade da celulose.¹⁷ Também pode ser visto que o tratamento térmico com polidimetilsiloxano como meio tem pouco efeito sobre a cristalinidade da celulose de materiais de bambu, o que pode ser atribuído à decomposição competitiva de celulose amorfa e celulose cristalina.

3.5 Análise TG-DTG A

Fig. 7 mostra as curvas termogravimétricas de bambu tratado termicamente. O processo de pirólise do bambu é dividido principalmente em três etapas de acordo com a temperatura de tratamento térmico em bambu, e resultou na vaporização da água de ligação. A evaporação da água de ligação desempenha um papel dominante com a temperatura inferior a 100 °C. O teor de água de ligação em espécimes de bambu começou a diminuir com o aumento da temperatura.

No entanto, os componentes químicos em materiais de bambu são basicamente inalterados no 1º estágio. O segundo estágio é o estágio de pirólise rápida com uma faixa de temperatura de 178–390 °C. Esta etapa de pirólise geralmente é dividida em 2 etapas: a faixa de temperatura correspondente é de 178–264 °C e 264–390 °C.¹⁸ Ocorreu uma degradação térmica drástica para componente de fácil decomposição da hemicelulose em materiais de bambu na faixa de temperatura variando de 178 °C a 264 °C, e resultou na

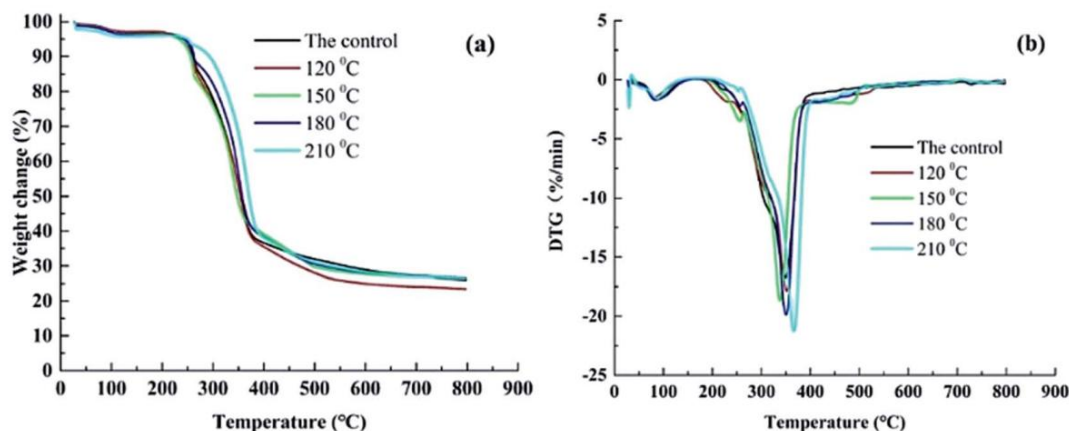


Fig. 7 (a) Curvas de variação de peso de espécimes de bambu tratados termicamente em diferentes temperaturas. (b) Curvas DTG de espécimes de bambu tratados termicamente em diferentes temperaturas.



Fig. 8 Efeito da temperatura de tratamento térmico na cor da superfície do espécime de bambu.

perda rápida de peso de bambu. Um pico representativo apareceu a cerca de 260°C nas curvas DTG de acordo com esta conclusão.

A pirólise mais intensa dos espécimes de bambu foi gerada na temperatura variando de 264 C a 390 C, e a maior razão de perda de massa foi obtida em torno de 350 C. de celulose e lignina em espécimes tratados termicamente. E o maior pico nas curvas DTG foi observado para gerar em cerca de 350 C como ilustrado na Fig. 7(b). E o pico foi aumentado com o aumento da temperatura de tratamento térmico. A combinação de hidroxila e carbono-oxigênio em celulose e hemicelulose dos espécimes testados foi seriamente danificada nesta fase. A terceira fase é uma fase de pirólise lenta com temperatura superior a 390 C, e observa-se que aparece como um pico de cauda nas curvas DTG. A taxa de perda de peso dos espécimes testados foi obviamente diminuída em comparação com o segundo estágio, e as curvas de perda de peso dos espécimes de bambu tendem a ser suaves, conforme ilustrado na Fig. 7. Uma re-degradação foi observada nos componentes de pirólise incompleta do bambu nesta etapa. A temperatura de tratamento térmico aplicada neste estudo foi de 120, 150, 180 e 210 C, e a reação só apareceu na degradação térmica dentro da temperatura inferior a 390 C (ou seja, o primeiro e segundo estágio da degradação térmica do bambu). O pico de pirólise do espécime de bambu na 1ª etapa durante a pirólise rápida do bambu foi diminuído e o pico de pirólise na 2ª etapa foi aumentado gradualmente com o aumento da temperatura do tratamento térmico. Isso se deve à pirólise óbvia de amostras sob os efeitos abrangentes do tratamento térmico de alta temperatura e do polidimetilsiloxano, resultando em uma variedade óbvia para a distribuição de vários componentes químicos. Observou-se que o teor relativo de hemicelulose em espécimes tratados diminuiu, e o de lignina e celulose aumentou. 14.18

3.6 Análise de mudanças de cor

A cor da superfície dos espécimes de bambu antes e após o tratamento térmico com polidimetilsiloxano como meio é apresentada na Fig. 8. As mudanças de cor dos espécimes de bambu tratados termicamente em diferentes temperaturas são ilustradas na Tabela 2. Uma redução foi gerada para L^* de calor- espécimes tratados, indicando escurecimento dos materiais de bambu após 3 h de tratamento térmico usando

	EU*	Unit	P*	DD	D _B *	D _P *	DE	DD	D _B *	D _P *
100	-		-	-	-		-	-	-	-
110	-		-	-	-		-	-	-	-
120	-		-	-	-		-	-	-	-

polidimetilsiloxano como meio. As alterações correspondentes nos valores de L^* foram 7,08, 22,55, 37,1, 62,26 a 120, 150, 180 e 210 °C em comparação com as amostras do grupo controle. A mesma conclusão é consistente com os resultados apresentados na Fig. 8. Conforme ilustrado na Tabela 2, a redução da luminosidade dos espécimes de bambu tratados termicamente aumentou de 10,68 para 93,94 com o aumento da temperatura do tratamento térmico de 120 para 210 °C. Além disso, o verde As coordenadas de cor -vermelho (a^*) e amarelo-azul (b^*) também foram alteradas significativamente em diferentes temperaturas de tratamento térmico. Os valores negativos de Da^* indicam uma tendência óbvia para a superfície dos espécimes de bambu se tornarem esverdeadas. 33,36 Da^* dos espécimes de bambu tratados a 120, 150, 180 e 210 °C foi de 0,44, 5,97, 6,98 e 1,07, respectivamente, indicando que o bambu tratado termicamente tende a ficar esverdeado em vários graus. Além disso, os valores em Db^* dos corpos de prova tratados a 120, 150, 180 e 210 °C foram 173,98, 266,93, 490,82 e 2570,21, respectivamente, indicando uma tendência da superfície dos corpos de prova tratados se tornarem amareladas. A mudança de cor de Db^* para os corpos de prova testados foi maior que a dos valores de Da^* , indicando a influência muito maior do tratamento de alta temperatura com polidimetilsiloxano no grau de amarelecimento dos corpos de prova testados. A diferença total de cor (DE^*) é um indicador abrangente de mudança de cor para amostras de bambu tratadas e não tratadas. Pode-se observar na Tabela 2 que um aumento gradual da DE^* foi observado com o aumento da temperatura de tratamento térmico. As alterações de cor geradas nas amostras testadas em diferentes temperaturas de tratamento térmico foram causadas por pirólise de hemicelulose e polissacarídeos até certo ponto.³⁵ A reação de condensação ocorre na cadeia lateral da lignina durante o tratamento térmico, resultando na geração de novos b-b e b-5 estruturas de condensação e novas duplas ligações conjugadas, e o sistema conjugado é alongado, causando o deslocamento da banda de absorção de UV para a região da luz visível e aprofundamento da cor do bambu. indica que as mudanças de cor de espécimes de bambu tratados termicamente podem ser influenciadas pela absorção de polidimetilsiloxano no processo de tratamento térmico com polidimetilsiloxano como meio.

4. Conclusões

Este trabalho investiga sistematicamente os efeitos do tratamento térmico com polidimetilsiloxano como meio no desempenho abrangente da madeira de bambu na temperatura de tratamento térmico variando de 120 a 210 °C. Os resultados da propriedade física revelaram que a taxa de EMC e inchamento de espécimes de bambu tratados termicamente foi diminuído com o aumento da temperatura de tratamento térmico. Aumento do ângulo de contato superficial da água em corpos de prova tratados termicamente indicando a redução da molhabilidade com água para amostras de bambu com o aumento da temperatura de tratamento térmico. Os resultados de propriedade mecânica revelaram que o valor máximo de MOR foi obtido a 120 °C.

Além disso, o MOE foi aumentado com o aumento da temperatura de tratamento térmico e menor do que a dos espécimes de bambu não tratados. Os resultados de DRX mostraram uma ligeira diminuição na cristalinidade da celulose de espécimes de bambu tratados termicamente com 599, DOI: 10.3390/ma12040599.

o aumento da temperatura de tratamento térmico. Uma nova banda em 2962 e 800 cm^{-1} encontrada nos espécimes de bambu tratados termicamente confirmou a presença de vibração de estiramento Si-C em Si-CH₃ de polidimetilsiloxano, indicando a ligação do siloxano à madeira de bambu pela formação de ligações covalentes. Os resultados da análise TG-DTG também ilustraram uma redução no teor relativo de hemicelulose e aumento no teor relativo de lignina e celulose dos espécimes de bambu com o aumento da temperatura de tratamento térmico. A cor dos espécimes de bambu tratados termicamente é ainda mais profunda em toda a espessura e direção do comprimento, o que confere aos materiais de bambu um bom desempenho de decoração de superfície. Este trabalho oferece um melhor processo de modificação de bambu para melhorar a resistência mecânica, estabilidade dimensional, desempenho de decoração de superfície e desempenho à prova d'água da madeira de bambu, com a esperança de fornecer base técnica para melhorar a aplicação da madeira de bambu.

Conflitos de interesse

Não há conflitos a declarar.

Reconhecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da National Natural Science Foundation of China (Grant No. 31800473), Natural Science Foundation of Zhejiang Province (Grant No. LY17C160007), Programa Nacional de Treinamento em Inovação e Empreendedorismo de Graduação da China (Concessão No. 101-202360000409, 101-202360000408), Centro de Inovação Colaborativa Provincial de Zhejiang para Recursos de Bambu e Utilização de Alta Eficiência (Concessão No. 2017ZZY2-12).

Referências

- 1 XX Jiang, Norma J. Jiangxi. Univ., Nat. Sci. Ed., 2018, 33, 533–538.
- 2 JL Xie, JQ Qi, TT Hu, CFD Hoop, CY Hse e TF Shupe, J. Mater. Sci., 2016, 51, 7480-7490.
- 3 DU Shah, MCD Bock, H. Mulligan e MH Ramage, J. Mater. Sci., 2015, 51, 2991-3002.
- 4 A. Azadeh e K. Ghavami, Constr. Construir. Mater., 2018, 186, 145-154.
- 5 XC Zhang, ZZ Zhou, YD Zhu, JF Dai, YM Yu e PA Song, Ind. Crops Prod., 2019, 129, 97–104.
- 6 DL Cheng, T. Li, GD Smith, B. Xu e YJ Li, European Journal of Wood and Wood Products, 2018, 76, 1273-1278.
- 7 DL Cheng, LJ Chen, SX Jiang e QS Zhang, BioResources, 2014, 9, 120-131.
- 8 R. Salim, Z. Ashaari e HW Samsi, Mod. Aplic. Sci., 2010, 4, 211-220.
- 9 H. Huang, L. He, NF Yu e FW Sun, China Forestry Ciência e Tecnologia, 2014, 28, pp. 105–108.
- 10 H. S. akalak, K. Yilmaz, M. Grsoy e M. Karaman, Chem. Eng. Sci., 2020, 215, 115466.
- 11 T. Tang, XF Chen, B. Zhang, XM Liu e BH Fei, Materiais, 2019, 12, com 599, DOI: 10.3390/ma12040599.

- 12 JJ Gao, LJ Qu, J. Qian, ZY Wang, YJ Li, SL Yi e ZB He, *Sci. Rep.*, 2020, 10, 6760, DOI: 10.1038/s41598-020-63907-7.
- 13 CH Lee, TH Yang, YM Cheng e SJ Lee, *Constr. Construir. Mater.*, 2018, 178, 59-71.
- 14 R. Salim e R. Wahab, *J. Sustain. Dev.*, 2008, 1, 91-98.
- 15 XH Yue, QY Zou e SY Zhang, *World Bamboo e Rattan*, 2020, 18, 11-15.
- 16 YL Hou, Z. An, RJ Zhao e HQ Ren, *Journal of Fujian Faculdade de Silvicultura*, 2010, 30, 92-96.
- 17 J. Chu, JH Zhang, L. Ma e HD Lu, *Spectrosc. Spectral Anal.*, 2017, 37, 256-261.
- 18 J. Chu, JH Zhang e HD Lu, *Trans. Queixo. Soc. Agrícola. Eng.*, 2016, 32, 309-314.
- 19 J. Chu, L. Ma e JH Zhang, *Spectrosc. Anal Espectral.*, 2016, 36, 3557-3562.
- 20 FD Meng, YL Yu, YM Zhang, WJ Yu e JM Gao, *Aplic. Surfe. Sci.*, 2016, 371, 383-390.
- 21 YX Huang, R. Liu, FD Meng, YL Yu e WJ Yu, *Adv. Polím. Tecnol.*, 2019, 4949786.
- 22 Y. Cao, XZ Wang, YJ Li, DH Shen, YP Dai, SZ Zhang e WG Zhang, *J. For. Eng.*, 2020, 5, 109-115.
- 23 ZX Wu, YH Chen, S. He, YJ Bao e CJ Huang, *J. For. Ambiente. Sci.*, 2017, 37, 114-118.
- 24 GB/T 15780-1995: Métodos de teste para propriedades físicas e mecânicas de bambus, 1995.
- 25 JP Li, YH Chen, J. Xu, DJ Ren, H. Yu, F. Guo e ZX Wu, *Int. J. Polím. Sci.*, 2018, 6068589.
- 26 R. Wahab, A. Mohamad, HW Samsi e O. Sulaiman, *J. Vime de Bambu*, 2015, 4, 211-220.
- 27 T. Li, DL Cheng, eurodeputado Wjälinder e DG Zhou, *Ind. Produção de Culturas*, 2015, 69, 15-20.
- 28 Y. Tang, JB Li, YC Shen, YN Jin, YF Wang e YJ Li, *J. Zhejiang AF Univ.*, 2014, 31, 167-171.
- 29 R. Wahab, MSM Rasat, MM Mohammad, HW Samsi, MT Mustafa e MI Ahmad, *Adv. Ambiente. Biol.*, 2016, 10, 13-18.
- 30 YX Huang, FD Meng, R. Liu, YL Yu e WJ Yu, *Celulose*, 2019, 26, 7067-7078.
- 31 AA Erakhrumen, *Forest Pathol*, 2011, 42, 191-198.
- 32 T. Tang, B. Zhang, XM Liu, WB Wang, XF Chen e BH Fei, *Sci. Rep.*, 2019, 9, 1-11.
- 33 HX Yu, X. Pan, Z. Wang, WM Yang, WF Zhang e XM Zhuang, *Wood Sci. Technol.*, 2018, 52, 1671-1683.
- 34 YX Huang, YM Zhang, Y. Qi, YL Yu e WJ Yu, *Constr. Construir. Mater.*, 2019, 203, 104-110.
- 35 WW Shangguan, YC Gong, RJ Zhao e HQ Ren, *J. Wood Sci.*, 2016, 62, 383-391.
- 36 N. Li, YH Chen, H. Yu, FQ Xiong, WJ Yu, MZ Bao, ZX Wu, CJ Huang, F. Rao, JZ Li e YJ Bao, *RSC Adv.*, 2017, 7, 20760-20765.

