

نسخه پیش نویس پذیرفته شده

ارتعاشات آزاد و اجباری صفحات کامپوزیت پلیمری درجه بندی عملکردی تقویت شده با نانوپلاکت های گرافن

آهنگ میتائو، سريتائوات کيتيپورنچاي، جی يانگ

PII: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.09.070>

DOI: [S0263-8223\(16\)31467-2](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(16)31467-2) هزینه 7796

ارجاع:

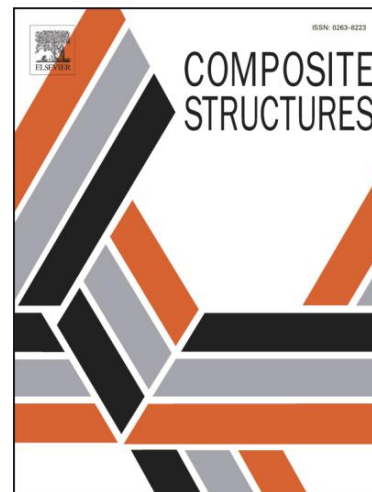
برای ظاهر شدن:

سازه های مرکب

تاریخ دریافت: 18 اگوست 2016

تاریخ بازنگری شده: 23 سپتامبر 2016

تاریخ پذیرش: 24 سپتامبر 2016



لطفاً این مقاله را به این صورت استناد کنید: Song, M., Kitipornchai, S., Yang, J., ارتعاشات آزاد و اجباری صفحات کامپوزیت پلیمری درجه بندی شده عملکردی تقویت شده با نانوپلاکت های گرافن، ساختارهای کامپوزیتی [http:// dx. doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.09.070](http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.09.070) (2016), doi: [http:// dx. doi.org/10.1016/S0263-8223\(16\)31467-2](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(16)31467-2)

این یک فایل PDF از یک نسخه خطی ویرایش نشده است که برای انتشار پذیرفته شده است. به عنوان خدماتی به مشتریان خود، این نسخه اولیه نسخه خطی را ارائه می کنیم. نسخه خطی قبل از اینکه به شکل نهایی منتشر شود، تحت کپی برداری، حروفچینی، و بررسی برهان حاصل خواهد شد. لطفاً توجه داشته باشید که در طول فرآیند تولید ممکن است خطاهایی کشف شود که می تواند بر محتوا تأثیر بگذارد و همه سلب مسئولیت های قانونی که در مورد مجله اعمال می شود مربوط می شود.

ارتعاشات آزاد و اجباری کامپوزیت پلیمری درجه بندی شده عملکردی
صفحات تقویت شده با نانوپلاکت های گرافن

آهنگ میترا^{a, b}, سرتاوا^{a, b}، جی یانگ^{*ج}

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه کوئینزلند، سنت لوسیا، بریزبن، QLD 4072 استرالیا

دانشکده مهندسی عمران و مکانیک، دانشگاه جیانگ سو، ژنجیانگ، جیانگ سو، 212013 PR

چین

دانشکده مهندسی، دانشگاه RMIT، صندوق پستی 71، بوندورا، VIC 3083 استرالیا

ارتعاشات آزاد و اجباری کامپوزیت پلیمری درجه بندی شده عملکردی صفحات تقویت شده با نانوپلاکت های گرافن

ج. *، آهنگ، Sritawatana, a, b

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه کوئینزلند، سنت لوسیا، بریزبن، QLD 4072 استرالیا

دانشکده مهندسی عمران و مکانیک، دانشگاه جیانگ سو، ژنجیانگ، جیانگ سو، 212013 PR

چین

دانشکده مهندسی، دانشگاه RMIT، صندوق پستی 71، بوندورا، VIC 3083 استرالیا

خلاصه

این مقاله ویژگی های ارتعاش آزاد و اجباری چند لایه درجه بندی شده عملکردی را بررسی می کند صفحات کامپوزیت نانوپلاکت گرافن (GPL) پلیمر در چارچوب برش مرتبه اول تئوری صفحه تغییر شکل کسر وزنی نانوپرکننده های GPL یک تغییر لایه ای را در امتداد نشان می دهد جهت ضخامت با GPL ها به طور یکنواخت در ماتریس پلیمری در هر لایه جداگانه پراکنده شده است. را مدول یانگ موثر توسط مدل هالپین-تسای اصلاح شده پیش بینی می شود در حالی که مدول پواسون موثر نسبت و چگالی جرم با قانون مخلوط تعیین می شود. معادلات دیفرانسیل حاکم از حرکت مشتق شده و از تکنیک ناویر مبتنی بر راه حل برای به دست آوردن فرکانس های طبیعی استفاده می شود و پاسخ دینامیکی صفحات GPL/ پلیمر درجه بندی شده عملکردی ساده تحت یک پویا بارگذاری. یک مطالعه پارامتریک با تمرکز ویژه بر روی اثرات توزیع GPL انجام شده است الگو، کسر وزن، هندسه و اندازه و همچنین تعداد کل لایه ها روی دینامیک ویژگی های صفحات

واژه های کلیدی: نانوپلاکت های گرافن. مواد درجه بندی عملکردی؛ کامپوزیت های پلیمری؛ چند لایه

بشقاب؛ نظریه صفحه تغییر شکل برشی مرتبه اول. رفتار پویا

*

نویسنده متناظر. تلفن: 61-03-99256169؛ فکس: 61-03-99256108

آدرس پست الکترونیکی: j.yang@rmit.edu.au (J. Yang)

1. معرفی

پلیمرهای پر از کربن به دلیل خواص مکانیکی، حرارتی و الکتریکی فوق العاده آنها کامپوزیت ها به طور گسترده در بخش های مختلف مهندسی از جمله هوافضا، خودرو، مهندسی زیست پزشکی و عمران در دو دهه گذشته [4-1] در مقایسه با سایر مبتنی بر کربن نانوپرکنندهها، گرافن یا پلاکتهای گرافن (GPLs) دارای سطح ویژه بسیار بالایی هستند هزینه تولید پایین تر، آنها را به عنوان کاندیدای عالی به عنوان مواد تقویت کننده در کامپوزیت ها تبدیل می کند [5]. از نظر تئوری و تجربی مشاهده شده است که حتی مقدار بسیار کمی اضافه می شود گرافن در ماتریس پلیمری بکر می تواند به طور چشمگیری مکانیکی [10-6] و حرارتی آن را بهبود بخشد. [12، 11] و خواص الکتریکی [12] این یک فرصت عالی برای توسعه ایجاد می کند ساختارهای سبک وزن پیشرفته ساخته شده از نانوکامپوزیت های پلیمری مبتنی بر گرافن. تاکنون، اکثر تلاشهای تحقیقاتی در این حوزه نوظهور به سنتز اختصاص داده شده است. ساخت و تعیین ویژگی های مواد کامپوزیت های مبتنی بر گرافن با محتوای کم پرکننده های گرافن رفیعی و همکاران [6] نشان داد که با افزودن 0.1 درصد کسر وزنی (wt%) LPGها، استحکام و سفتی کامپوزیت های پلیمری تقویت شده به همان درجه افزایش می یابد با افزودن 1.0 درصد وزنی نانولوله های کربنی (CNTs) به دست آمد. با تعبیه 6.0 درصد وزنی از GPL ها در ماتریس اپوکسی، کینگ و همکاران [13] نانوکامپوزیت های GPL/اپوکسی که مدول یانگ آنها از 2.72 GPa به 3.36 GPa افزایش می یابد. فانگ و همکاران [14] نانوکامپوزیت های ورق پلی استایرن ساخته شده است با ترکیب 0.9 درصد وزنی صفحات گرافن، که منجر به افزایش قابل توجه 57.2 درصدی در مدول یانگ ژائو و همکاران [15] پلی وینیل الکل مبتنی بر گرافن را با افزودن 1.8% تولید کرد. کسر حجمی اکسید گرافن را به ماتریس پلی وینیل الکل تبدیل کرده و یک نانوکامپوزیت با مدول یانگ 10 برابر بیشتر از مدول نمونه بکر است. وانگ و همکاران [16] اثرات را مورد مطالعه قرار دادند اندازه های مختلف GPL بر روی خواص مکانیکی نانوکامپوزیت های GPL/اپوکسی و مطالعه آنها نشان داد که اندازه بزرگتر GPL می تواند به طور قابل توجهی مدول کششی را بهبود بخشد اما استحکام را کاهش دهد نانوکامپوزیت ها علاوه بر تلاش های تجربی، برخی تحقیقات نظری و عددی در زمینه مکانیک نیز انجام شده است عملکرد کامپوزیت های مبتنی بر گرافن نیز انجام شده است. بر اساس مدل موری تاناکا، جی و همکاران [17] یک روش میکرومکانیک را برای مطالعه خواص الاستیک موثر توسعه داد

کامپوزیت های گرافن/پلیمر رحمان و هاگ [18] اثرات غلظت GPL را بررسی کردند، نسبت ابعاد و پراکندگی روی ثابت های الاستیک و پاسخ های تنش-کرنش کامپوزیت های GPL/اپوکسی با استفاده از مکانیک مولکولی و شبیه سازی دینامیک مولکولی. لیو و همکاران [19] مطالعه را در اثرات چین و چروک ورق گرافن، نوع ماتریس پلیمری، طول زنجیره مولکول پلیمر و سرعت خروج بر روی خواص مکانیکی سطحی نانوکامپوزیت های تقویت شده با گرافن توسط استفاده از شبیه سازی دینامیک مولکولی منتظری و رفیعی تبار [10] از مولکولی استفاده کردند مکانیک سازه / رویکرد مدل سازی چند مقیاسی مبتنی بر المان محدود برای بررسی اثرات GPL بر روی مدول یانگ ماتریس پلیمری. اسپانوس و همکاران [20] مکانیکی الاستیک را تخمین زد خواص کامپوزیت های تقویت شده با گرافن با استفاده از روش اجزای محدود چند مقیاسی که در آن رویکرد مکانیک ساختاری مولکولی اتمی با المان محدود پیوسته ترکیب شد روش.

درک رفتار دینامیکی کامپوزیت ها و ساختارهای مبتنی بر کربن برای آنها بسیار مهم است کاربردهای مهندسی خمش استاتیک، کمانش الاستیک، پس کمانش، خطی و غیرخطی آزاد و ارتعاشات اجباری سازه های کامپوزیتی تقویت شده CNT به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است [21-28]. در میان کسانی که با رفتار دینامیکی کامپوزیت ها و ساختارهای تقویت شده با گرافن سروکار دارند، لانگ و همکاران [29] از شبیه سازی دینامیک مولکولی برای پاسخ ضربه گرافن/مس استفاده کرد کامپوزیت نانولایه و تغییر شکل و آسیب پسته شدن مس، لایه لایه شدن را مورد بحث قرار داد نانولامینات، چروک شدن و شکستگی گرافن. ریسانو و همکاران [30] اثر اندازه را مورد مطالعه قرار دادند صفحات گرافن بر روی خواص ساختاری و دینامیکی چندین پلیمر مبتنی بر گرافن سیستم های نانوکامپوزیت با استفاده از شبیه سازی های دینامیک مولکولی اتمی دقیق چاندر و همکاران [31] یک رویکرد چند مقیاسی برای فرکانس های طبیعی ساختارهای کامپوزیت گرافن/پلیمر ارائه کرد با مدل سازی گرافن در مقیاس اتمی و تغییر شکل ماتریس توسط پیوسته محدود روش عنصر لازم به ذکر است که تحقیقات بر روی رفتار دینامیکی گرافن ساختارهای نانوکامپوزیت هنوز بسیار محدود هستند. با بهترین دانش نویسندگان، تمام موارد قبلی مطالعات بر روی ساخت مواد و تحلیل رفتار مکانیکی، نانوکامپوزیت ها را تقویت شده در نظر گرفتند با نانوپرکننده های گرافن که به طور یکنواخت در ماتریس پراکنده شده اند. هیچ کاری روی آن انجام نشده است نانوکامپوزیت ها و ساختارهایی با تقویت کننده های گرافن با توزیع غیریکنواخت

مواد درجه بندی شده عملکردی (FGMs) با تغییرات مداوم در هر دو ماده مشخص می شوند

ترکیب و خواص مکانیکی در یک یا چند بعد (بعد) که می تواند متناسب با آن باشد

به طور همزمان نیازهای عملکردی مختلف را برآورده می کند. به دلیل محدودیت جریان

تکنولوژی ساخت، ساخت یک ساختار FGM ایده آل با غلظت GPL متفاوت است

جهت ضخامت مداوم اگر غیرممکن نباشد بسیار دشوار است. یک ساختار چند لایه

متشکل از تعدادی لایه جداگانه که در آنها کسر وزنی GPL ثابت می ماند

در هر لایه اما به دنبال یک تغییر تدریجی لایه از طریق ضخامت یک جایگزین عالی است

اگر تعداد کل لایه ها به اندازه کافی زیاد باشد. هدف مقاله حاضر بررسی پویایی است

عملکرد چنین صفحات نانوکامپوزیتی GPL/پلیمر درجه بندی شده در زیر یک عرضی

بار دینامیکی مدل اصلاح شده هالپین-تسای برای پیش‌بینی مدول یانگ موثر به کار گرفته شده است

در حالی که از قانون مخلوط برای تعیین نسبت پواسون موثر و چگالی جرم استفاده می شود.

فرمول های نظری بر اساس تئوری صفحه تغییر شکل برشی مرتبه اول است. فوریه دابل

راه حل سری در ترکیب تکنیک مبتنی بر راه حل Navier برای به دست آوردن طبیعی استفاده می شود

فرکانس ها و پاسخ انحراف دینامیکی صفحه به سادگی پشتیبانی می شود. عددی دقیق

مطالعه به منظور ایجاد بینش مهم در مورد اثرات الگوی توزیع، وزن انجام شده است

کسر، هندسه و اندازه LPG ها و همچنین تعداد کل لایه‌های آزاد و اجباری

ارتعاشات صفحه نانوکامپوزیت GPL/پلیمر درجه بندی شده عملکردی.

2. فرمول مسئله

عرض b و ضخامت h در معرض ، یک صفحه نانوکامپوزیت چند لایه GPL/پلیمر با طول a

یک بار دینامیکی عرضی توزیع شده $F(X, Y, T)$ در شکل 1 نشان داده شده است. صفحه از لایه های NL تشکیل شده است.

با ضخامت یکسان $N/h = h$ و توسط LPG هایی که به طور یکنواخت در پلیمر پراکنده شده اند تقویت می شود.

ماتریس در هر لایه جداگانه کسر وزنی (wt%) GPL یک تغییر لایه ای را نشان می دهد تا a تشکیل دهد

ساختار درجه بندی عملکردی به منظور بررسی تأثیر توزیع GPL بر پویایی

عملکرد صفحه GPL/پلیمر، چهار الگوی مختلف توزیع GPL نشان داده شده در شکل 2 هستند

در نظر گرفته شده، که در میان آنها الگوی 1 یک مورد خاص مربوط به یک صفحه همگن همسانگرد است

که در آن LPG ها به طور یکنواخت در یک درصد وزنی در تمام لایه ها توزیع می شوند. الگوهای 2-4 نشان دهنده،

به ترتیب، یک ترکیب ماده درجه بندی شده که در آن کسر وزنی GPL به صورت خطی از لایه به لایه تغییر می کند

لایه در امتداد ضخامت صفحه کسر وزن GPL از بالاترین در سطح میانی به کاهش می یابد

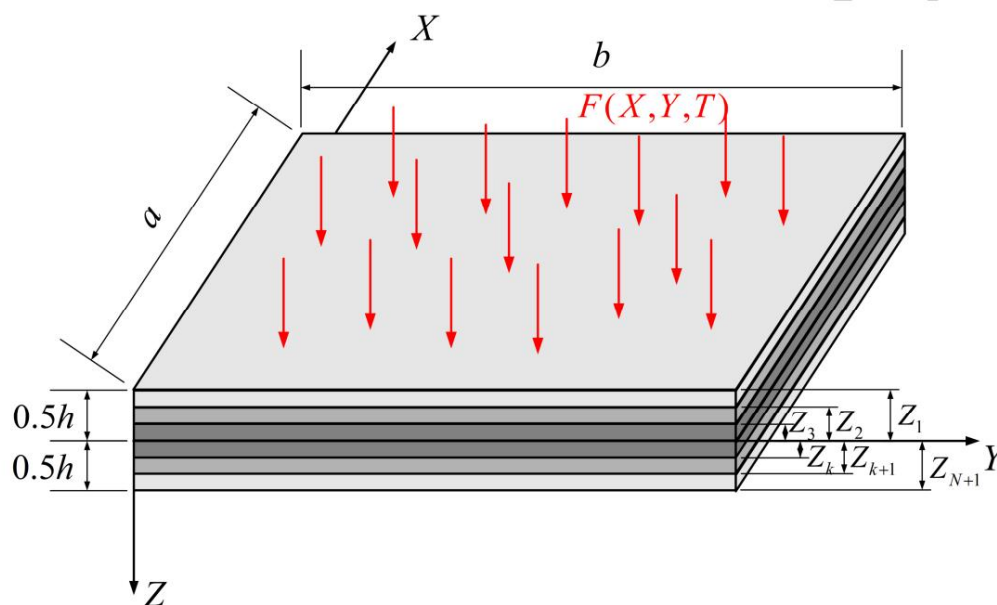
پایین ترین سطح در هر دو سطح بالا و پایین صفحه در الگوی 2 در حالی که در الگوی 3 این برعکس است.

با حداکثر کسر وزن در هر دو سطح بالا و پایین و کمترین در سطح میانی

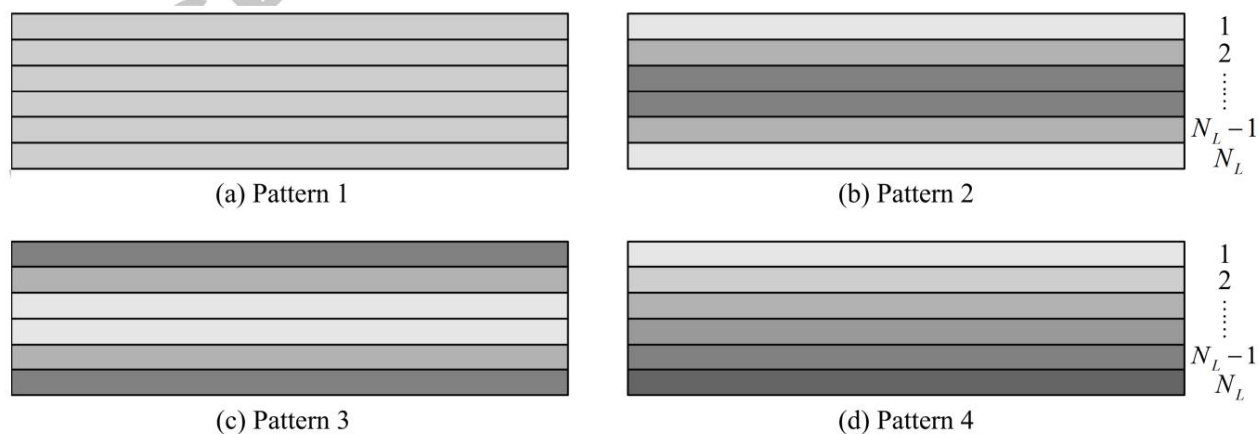
بشقاب. لازم به ذکر است که هر دو الگوی 2 و الگوی 3 متقارن هستند در حالی که در غیر

الگوی متقارن 4، کسر وزن GPL به صورت خطی از سطح بالا به پایین افزایش می یابد

سطح



شکل 1. یک صفحه نانوکامپوزیت GPL/پلیمر با درجه بندی عملکردی چند لایه



شکل 2. الگوهای مختلف توزیع GPL

2.1 خواص مواد موثر

مدل اصلاح شده هالپین-تسای برای محاسبه مدول یانگ موثر GPL/پلیمر استفاده می شود.

کامپوزیت. با فرض اینکه GPLها به عنوان پرکننده های جامد مستطیلی موثر به طور یکنواخت در یک پلیمر پراکنده شده اند

ماتریس، مدول یانگ موثر کامپوزیت GPL/پلیمر، EC را می توان با Voigt تقریب زد.

مدل [32]: Reuss

$$E_c = E_m + \xi \xi_{GPL}^3 \quad (1)$$

که در آن مدول طولی E و مدول عرضی E₀ را می توان با مدل Halpin-Tsai تعیین کرد.

[33]:

$$E = \frac{E_m \xi_{GPL}}{1 - \eta_{L GPL} V_p} \quad (2)$$

$$E_0 = \frac{E_m \xi_{GPL}}{1 - \eta_{W GPL} V_p} \quad (3)$$

جایگزینی معادلات (2) و (3) به معادله (1) بازده

$$E = \frac{3 E_m \xi_{GPL}}{81 - \eta_{L GPL} V_p} E_p \frac{81}{5 - 1 + \eta_{W GPL} V_p} \frac{E_0}{E_m} \quad (4)$$

جایی که

$$\eta_L = \frac{E_m \xi_{GPL} (M) - 1}{E_m \xi_{GPL} (M)} \quad (5)$$

$$\eta_W = \frac{E_m \xi_{GPL} (M) - 1}{E_m \xi_{GPL} (M)} \quad (6)$$

EM و EGPL به ترتیب مدول های یانگ ماتریس پلیمری و GPL هستند، VGPL حجم GPL است.

پارامترهایی هستند که هم هندسه و هم اندازه نانو پرکننده های GPL را مشخص می کنند، ξ و ξ_{GPL} ،

که تعریف میشود

$$\xi = \frac{\xi_{GPL}^2}{\xi_{GPL}} \quad (7)$$

$$\xi_{GPL} = \frac{V_{GPL}}{V_{GPL} + V_M} \quad (8)$$

که در آن V_{GPL} و V_M به ترتیب میانگین طول، عرض و ضخامت GPL ها هستند.

نانوکامپوزیت پلیمری GPL/ پلیمری را می توان با قانون محاسبه کرد

نسبت پوزیون

مخلوط

$$\rho_{GPL} = \rho_{GPL} + V_M \rho_M \quad (9)$$

$$v_{GPL} = \frac{V_{GPL}}{V_{GPL} + V_M} \quad (10)$$

در جایی که VM کسر حجمی ماتریس پلیمری است، زیرنویس های "M"، "GPL" و "c" مخفف GPL هستند.

ماتریس پلیمری و نانوکامپوزیت GPL/ پلیمری به ترتیب. کسر حجمی GPL ها نشان داده شده است

توسط V_{GPL} توسط داده شده است

$$V_{GPL} = \frac{g_{GPL}}{g_{GPL} + \rho_M (1 - g_{GPL})} \quad (11)$$

کپی وزن GPL در نانوکامپوزیت کجاست؟

2.2 معادله حاکم

بر اساس تئوری صفحه تغییر شکل برشی مرتبه اول، [34] جابجایی های دلخواه

نقطه در بشقاب هستند

$$\begin{aligned} u_{,XYT} &= \phi_{XYT} \quad \text{و} \quad v_{,XYT} = \psi_{XYT} \\ u_{,XYT} &= \phi_{XYT} \quad \text{و} \quad v_{,XYT} = \psi_{XYT} \\ \phi_{XYT} &= \phi_{XYT} \quad \text{و} \quad \psi_{XYT} = \psi_{XYT} \end{aligned} \quad (12)$$

اجزای جابجایی صفحه وسط هستند

صفحه، و آ زمان است. توجه داشته باشید که

$$\phi_x = \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad \phi_y = \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (13)$$

که به ترتیب چرخش های مقطع حول محورهای X و Y را نشان می دهند. خطی

رابطه کرنش-جابجایی می دهد

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi \\ \chi \\ \psi \\ \psi \\ \psi \end{bmatrix} \quad (14)$$

جایی که

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx}^{(0)} \\ \varepsilon_{yy}^{(0)} \\ \gamma_{xy}^{(0)} \\ \gamma_{yz}^{(0)} \\ \gamma_{xz}^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi \\ \chi \\ \psi \\ w_0 + \phi_y \\ \psi_y + \phi \end{bmatrix} \quad (15)$$

9

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx}^{(1)} \\ \varepsilon_{yy}^{(1)} \\ \gamma_{xy}^{(1)} \\ \gamma_{yz}^{(1)} \\ \gamma_{xz}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi \\ \chi \\ \psi \\ \psi \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

مولفه های تنش لایه k را می توان از ساختار تنش-کرنش الاستیک خطی به دست آورد

رابطه به عنوان

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} \end{bmatrix}^{(k)} = [P] \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{bmatrix}^{(k)} \quad (17)$$

جایی که

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} &= \frac{E}{1 - \nu^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} &= \frac{E}{1 - \nu^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \\
 &= \frac{k^{(1)} \psi}{2(1 - \nu^2)} & &= \frac{k^{(2)} \psi}{2(1 - \nu^2)} = 0
 \end{aligned} \quad (18)$$

بر اساس اصل همیلتون، معادلات حاکم بر حرکت نانوکامپوزیت GPL/پلیمر

صفحه تحت یک بار دینامیکی $F(X, Y, T)$ را می توان به عنوان مشتق کرد

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} - \frac{1}{I_2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2 \partial y^2} = \frac{F}{D} \quad (19)$$

$$\frac{N_{xy}}{XY} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2 \partial y^2} - \frac{1}{I_2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2 \partial y^2} = \frac{F}{D} \quad (20)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} - \frac{1}{I_2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2 \partial y^2} = \frac{F}{D} \quad (21)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} - \frac{1}{I_2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2 \partial y^2} = \frac{F}{D} \quad (22)$$

$$\frac{M_{xy}}{XY} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2 \partial y^2} - \frac{1}{I_2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2 \partial y^2} = \frac{F}{D} \quad (23)$$

اصطلاحات مربوط به اینرسی توسط تعریف می شوند

$$I_j = \int \int \int z^j \rho \, dV \quad (j = 0, 1, 2) \quad (24)$$

که در آن k (چگالی جرمی لایه) است. نیروهای محوری (N_{xx} , N_{yy} , N_{xy})، گشتاورهای خمشی (M_{xx} , M_{yy} , M_{xy})

و نیروهای برشی (Q_x , Q_y) با اجزای کرنش مرتبط هستند.

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{xx} &= \frac{\partial u}{\partial x} \\
 \epsilon_{yy} &= \frac{\partial v}{\partial y} \\
 \epsilon_{xy} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)
 \end{aligned} \quad (25)$$

$$M_{xy} = \bar{B}_{xy} \epsilon_{xy}^{(0)} + \bar{D}_{xy} \epsilon_{xy}^{(1)} \quad (26)$$

$$K_{ij} = \bar{K}_{ij}^{(0)} \quad (27)$$

و کج از بشقاب هستند عناصر سختی از $\bar{A}, \bar{B}, \bar{D}$ که در آن ضریب تصحیح برشی $k_s = 5/6$.

که تعریف میشود

$$\bar{A}_{ij} = \int_{-z}^z \bar{Q}_{ij} dz \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (28)$$

$$\bar{K}_{ij} = \int_{-z}^z \bar{K}_{ij} dz \quad (i, j = 1, 2) \quad (29)$$

جایگزینی معادلات (27)-(25) به معادلات (23)-(19) و معرفی موارد بدون بعد زیر

مولفه های

$$\begin{aligned} \bar{a} &= \frac{Y}{I}, \quad \bar{y} = \frac{Y}{b}, \quad \bar{\rho} = \frac{\rho}{\rho_0}, \quad \bar{v} = \frac{v}{v_0}, \quad \bar{w} = \frac{w}{w_0}, \quad \bar{\alpha} = \frac{\alpha}{I}, \\ \bar{\beta} &= \frac{\bar{a}}{b}, \quad \bar{B}_{ij} = \frac{\bar{B}_{ij}}{E_0 a^2}, \\ \bar{D}_{ij} &= \frac{\bar{D}_{ij}}{E_0 a^3}, \quad \bar{K}_{ij} = \frac{\bar{K}_{ij}}{E_0 a}, \quad \bar{\rho} = \frac{\rho}{\rho_0}, \quad \bar{f} = \frac{f}{E_0} \end{aligned} \quad (30)$$

معادلات حاکم را می توان بر حسب جایابی های بدون بعد بازنویسی کرد (، ،)

$$11 \quad \bar{L}_{11} \bar{u} + \bar{L}_{12} \bar{v} + \bar{L}_{13} \bar{w} + \bar{L}_{14} \bar{\phi} = \bar{I}_0 \frac{\partial^2 \bar{\phi}}{\partial t^2} + \bar{u} \quad (31)$$

$$21 \quad \bar{L}_{22} \bar{u} + \bar{L}_{23} \bar{v} + \bar{L}_{24} \bar{\phi} = \bar{I}_0 \frac{\partial^2 \bar{\phi}}{\partial t^2} + \bar{v} \quad (32)$$

$$31 \quad \bar{L}_{31} \bar{u} + \bar{L}_{32} \bar{v} + \bar{L}_{33} \bar{w} + \bar{L}_{34} \bar{\phi} = \bar{I}_0 \frac{\partial^2 \bar{\phi}}{\partial t^2} + \bar{w} \quad (33)$$

$$41 \quad \bar{L}_{41} \bar{u} + \bar{L}_{42} \bar{v} + \bar{L}_{43} \bar{w} + \bar{L}_{44} \bar{\phi} = \bar{I}_0 \frac{\partial^2 \bar{\phi}}{\partial t^2} + \bar{\phi} \quad (34)$$

$$\Delta u = \Delta v = \Delta w = \Delta \phi = \Delta \psi = 0 \quad (35)$$

که در آن عبارات عملگرهای دیفرانسیل جزئی از لاپلاس پیوسته آورده شده است.

فرض بر این است که صفحه به سادگی در تمام لبه ها با شرایط مرزی پشتیبانی می شود

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial x} = 0, 1 \quad (36)$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial w}{\partial y} = \frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{\partial \psi}{\partial y} = 0, 1 \quad (37)$$

3. روش حل

3.1 تجزیه و تحلیل ارتعاش اجباری

روش گالرکین برای به دست آوردن حل تحلیلی معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم استفاده می شود

(35)-(31) تحت شرایط مرزی مشخص شده در معادلات (36) و (37) جایابی های بدون بعد

در سری فوریه دوگانه به صورت بیان می شوند

$$u(x, y, t) = \sum_{m,n} A_{mn} \cos(\frac{m\pi x}{L}) \cos(\frac{n\pi y}{H}) e^{i\omega t} \quad (38)$$

$$v(x, y, t) = \sum_{m,n} B_{mn} \sin(\frac{m\pi x}{L}) \cos(\frac{n\pi y}{H}) e^{i\omega t} \quad (39)$$

$$w(x, y, t) = \sum_{m,n} C_{mn} \cos(\frac{m\pi x}{L}) \sin(\frac{n\pi y}{H}) e^{i\omega t} \quad (40)$$

$$\phi(x, y, t) = \sum_{m,n} D_{mn} \cos(\frac{m\pi x}{L}) \cos(\frac{n\pi y}{H}) e^{i\omega t} \quad (41)$$

$$\psi(x, y, t) = \sum_{m,n} E_{mn} \sin(\frac{m\pi x}{L}) \sin(\frac{n\pi y}{H}) e^{i\omega t} \quad (42)$$

توابع ناشناخته زمان بی بعد $A_{mn}, B_{mn}, C_{mn}, D_{mn}, E_{mn}$ هستند.

جایگزینی معادلات (38)-(42) به معادلات (35)-(31) ضرب معادلات در $\cos(\frac{m\pi x}{L}) \sin(\frac{n\pi y}{H})$

$$\sin(\frac{m\pi x}{L}) \cos(\frac{n\pi y}{H}) \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) = 0$$

اعداد صحیح مثبت هستند. سپس معادلات حاصل را با توجه به ω به ω_0 و ω_1 از ادغام می کنیم

تا ω_0 ، معادلات گسسته فضایی صفحه را می توان به صورت زیر استخراج کرد

$$= \{ \dots \} \quad (43)$$

جایی که

$$\begin{aligned} & \begin{matrix} 11 \text{ متر} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 0000 \\ 0000 \\ 0000 \\ 0000 \\ 0000 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 12 \text{ س} \\ 21:22 \text{ s} \\ 42 43 \text{ s} \\ 51 52 53 \text{ s} \end{matrix} \quad \begin{matrix} 14.5 \\ 25 \\ 44 \\ 55 \end{matrix} \\ & \left[\begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \right] = \left[\begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \right] \quad \left[\begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \right] = \left[\begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \right] \quad \left[\begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \right] = \left[\begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \right] \\ & \begin{matrix} U \\ V \\ Y \end{matrix} \quad \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \quad \begin{matrix} Q \\ Q \\ Q \end{matrix} \quad \begin{matrix} 4 \\ 4 \\ 4 \end{matrix} \quad \begin{matrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{گناه} \\ \text{گناه} \\ \text{گناه} \end{matrix} \end{aligned} \quad (44)$$

جزئیات همه عناصر در ماتریس [M] و [S] در پیوست B آورده شده است.

معادله سپس (43) با روش Runge-Kutta مرتبه چهارم متغیر [35] حل می شود تا تعیین شود.

پاسخ اجباری صفحه

3.2 تجزیه و تحلیل ارتعاش رایگان

لرزش آزاد را می توان به عنوان یک مشکل زیر مجموعه در معادله در نظر گرفت. (43) برای ارتعاش هارمونیک، اجازه دهید

$$\{ \dots \} \quad (45)$$

جایی که

$$\{ \dots \} = \{ \dots \} \quad (46)$$

ضرایب مرتبط با اجزای جابجایی جایگزینی معادله (45) به معادله (43) و سقوط

خارج از بردار نیرو، {Q} معادله مقدار ویژه زیر به دست می آید

$$\left(\left[\dots \right] - \lambda^2 \left[\dots \right] \right) \{ \dots \} = 0 \quad (46)$$

فرکانس های طبیعی را می توان از راه حل غیرمعمول معادله پیدا کرد. (46)

4. نتایج و بحث

یک مطالعه پارامتری دقیق در این بخش برای بررسی ارتعاشات آزاد و اجباری انجام شده است

صفحات GPL/پلیمر با درجه بندی عملکردی چند لایه، با تمرکز ویژه بر اثرات

الگوی توزیع، کسر وزن، نسبت طول به ضخامت و نسبت طول به عرض LPG ها، و

تعداد کل لایه ها روی ویژگی های دینامیکی صفحه. نتایج عددی در ارائه شده است هر دو شکل جدولی و گرافیکی.

4.1 لرزش رایگان

از آنجایی که هیچ نتیجه ای برای رفتار ارتعاشی صفحات نانوکامپوزیتی مبتنی بر گرافن در دسترس نیست در ادبیات باز، یک صفحه آلومینیومی/آلومینی ساده (Al/Al₂O₃) با درجه بندی عملکردی مربع است.

به عنوان مثال و فرکانس طبیعی بدون بار آن استفاده می شود

موجود [36] در جدول 1 برای تایید تحلیل حاضر. خواص مواد هستند

$$\begin{aligned} E_1 &= 70.0 \times 10^9 \text{ نیوتن در متر}^2, \quad \nu = 0.3, \quad \rho_1 = 2702 \text{ کیلوگرم بر متر}^3 \\ E_2 &= 380 \times 10^9 \text{ نیوتن / متر}^2, \quad \nu = 0.3, \quad \rho_2 = 3800 \text{ کیلوگرم در متر}^3 \end{aligned} \quad (47)$$

فرض بر این است که سطوح بالایی و پایینی صفحه به ترتیب غنی از Al و Al₂O₃ هستند. را

خواص موثر ماده از طریق ضخامت، () از توزیع قانون توان پیروی می کند [37]

$$P_z = P_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^{2n} \quad (48)$$

در هر دو طرف به ترتیب خواص Al و Al₂O₃ را نشان می دهند و

فهرست مطالب. با استفاده از رویکرد ساختار چند لایه همگن معادل، [38-40] از نظر عملکردی

صفحه درجه بندی شده به تعداد محدودی از لایه های همسانگرد و همگن در امتداد ضخامت تقسیم می شود

جهت و ویژگی ماده موثر معادل هر لایه به عنوان مقدار متوسط تعریف می شود

معادله (48) درون لایه به عنوان [40]

$$P_z = \sum_{k=1}^{2L} \frac{P_0}{z_k} \left(\frac{z}{z_k} \right)^{2k-1}, \quad z_k = 1, 2, \dots, L \quad (49)$$

همانطور که مشاهده می شود، نتایج ما به طور یکنواخت با افزایش تعداد لایه ها و در داخل شدن همگرا می شوند

مطابقت عالی با نتایج مبتنی بر نظریه صفحه تغییر شکل مرتبه بالاتر. [36] حداکثر

تفاوت برای صفحه با $a/h = 1.30\%$ و برای صفحه با $a/h = 10.38\%$ است.

$E/h =$ از یک به سادگی پشتیبانی می شود $\omega \sqrt{\rho_2}$ جدول 1. فرکانس طبیعی بنیادی بدون بعد

صفحه مربعی با درجه بندی عملکردی Al/Al₂O₃

a/h	NL					ω
		0.0	0.5	4.0	10.0	1.0
5						

	10	0.2112	0.1809	0.1634	0.1393	0.1316
	20	0.2112	0.1806	0.1632	0.1396	0.1322
	30	0.2112	0.1805	0.1631	0.1396	0.1323
	40	0.2112	0.1805	0.1631	0.1396	0.1323
	مرجع. [36]	0.2121	0.1819	0.1640	0.1383	0.1306
10	10	0.05769	0.04912	0.04427	0.03811	0.03632
	20	0.05769	0.04903	0.04421	0.03820	0.03651
	30	0.05769	0.04901	0.04420	0.03822	0.03655
	40	0.05769	0.04901	0.04420	0.03823	0.03656
	مرجع. [36]	0.05777	0.04917	0.04426	0.03811	0.03642

در ادامه، اپوکسی به عنوان ماتریس پلیمری انتخاب می شود. مگر اینکه غیر از این گفته شود، بشقاب

$$V_{GPL} = \frac{W_{GPL}}{\rho_{GPL}} \quad (1)$$

$$V_{GPL} = \frac{W_{GPL}}{\rho_{GPL}} \quad (2)$$

1.06 گرم بر سانتی متر³، $\rho_{GPL} = 1.5$ و اپوکسی عبارتند از

$E = 1.01 \text{ TPa}$ ، ρ_m [6]; $E = 3.0 \text{ GPa}$ متر³ = 1.2 گرم بر سانتی متر³ V_m ، علاوه بر این، $\rho_{GPL} = 1.5$

کسر وزنی 1% GPL است و تعداد کل لایه ها $N_L = 10$ است.

فرکانس های طبیعی بی بعد صفحات / پلیمر درجه بندی عملکردی چند لایه با

الگوهای مختلف توزیع GPL در جدول 2 فهرست شده است که در آن مقدار در براکت نشان دهنده این است

درصد افزایش فرکانس به دلیل افزودن نانوپرکننده های تقویت کننده GPL. شکل 3 بررسی می کند

تأثیر کسر وزنی GPL بر تغییر فرکانس اساسی صفحات نانوکامپوزیت با

الگوهای مختلف توزیع GPL

جدول 2. فرکانس های طبیعی بدون بعد صفحات: اثر الگوهای توزیع GPL

الگوی 2	الگوی 4	الگوی 3	الگوی 1	m, n اپوکسی خالص 3, 3
0.8287 (94.5%)	0.9690 (127.4%)	0.7755 (82.0%)	0.8869 (108.1%)	1, 1 2, 1 2, 2030584 2
0.6299 (93.8%)	0.7454 (129.3%)	0.5860 (80.3%)	0.6767 (108.2%)	0.1391
0.5013 (93.2%)	0.5984 (130.6%)	0.4645 (79.0%)	0.5400 (108.1%)	0.2132
0.4110 (92.8%)	0.4939 (131.7%)	0.3796 (78.0%)	0.4436 (108.1%)	0.2595
0.2673 (92.2%)	0.3249 (133.6%)	0.2456 (76.6%)	0.2895 (108.1%)	0.3251
0.1118 (91.4%)	0.1378 (136.0%)	0.1020 (74.7%)	0.1216 (108.2%)	0.4261

که در آن ω_n / ω_n^0 توجه: مقدار درصد در پرانتز نشان دهنده افزایش فرکانس نسبی است

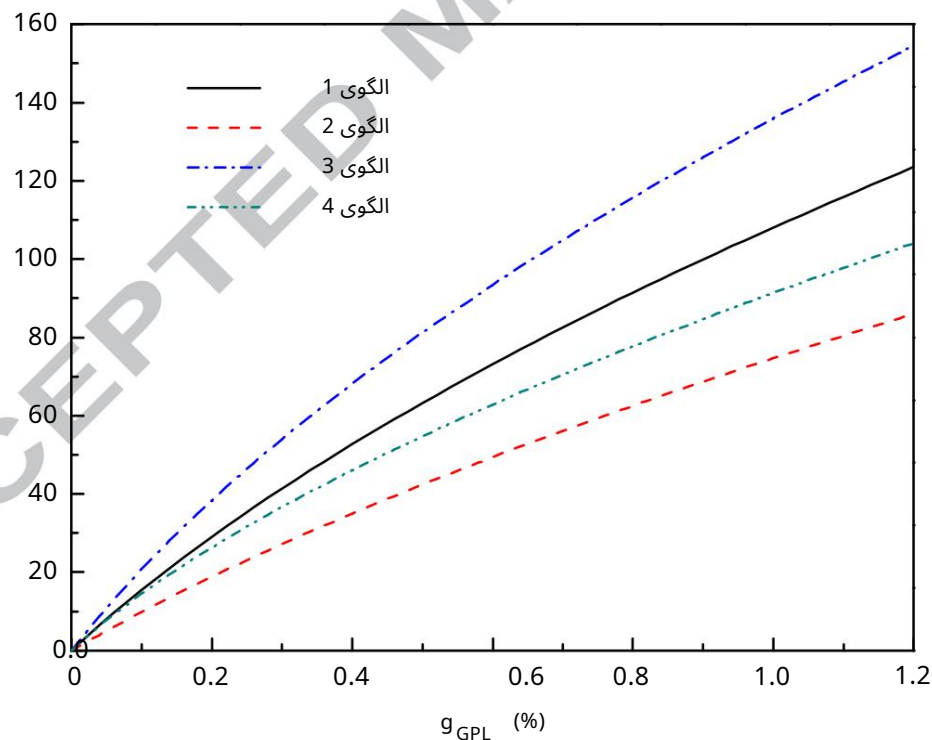
فرکانس های طبیعی به ترتیب با و بدون GPL هستند.

نتایج عددی نشان می دهد که بهبود سفتی صفحه از این رو طبیعی است

فرکانس از طریق ادغام LPG ها بسیار چشمگیر است. به عنوان مثال، طبیعی بنیادی

فرکانس صفحه با افزودن 1.2 درصد کسر وزنی GPL تقریباً 160 درصد بیشتر است. نسبت به صفحه اپوکسی بکر. فرکانس ها نیز با افزایش غلظت GPL افزایش می یابد مهم است که چگونه آنها در ماتریس اپوکسی توزیع می شوند. همانطور که از هر دو جدول 2 و شکل 3 مشاهده می شود، الگوی توزیع GPL نقش مهمی در بهبود ویژگی های دینامیکی ایفا می کند بشقاب با همان مقدار افزودنی های GPL الگوی توزیع 3 بالاترین پایه را به دست می دهد فرکانس که بیش از 60% بزرگتر از پایین ترین فرکانس اساسی تولید شده توسط توزیع است الگوی 2. این به وضوح نشان می دهد که نانوپرکننده های GPL بیشتری در نزدیکی سطوح بالا و پایین پخش می شوند از صفحه ای که در آن تنش نرمال بسیار بالا قرار دارد و مقدار بسیار کمتری در نزدیکی صفحه وسط آن قرار دارد تنش نرمال بسیار کوچک است موثرترین راه برای تقویت سفتی صفحه به طور قابل توجهی افزایش فرکانس های طبیعی این به این دلیل است که چنین توزیعی می تواند بهترین استفاده را از آن داشته باشد بنابراین، نانوپرکننده های GPL با مدول بالا منجر به بیشترین افزایش در عناصر سختی صفحه، A_{ij}

بیج و دیج و کیج .



شکل 3. اثر کسر وزنی GPL بر درصد تغییر فرکانس اساسی برای GPL/اپوکسی

صفحات با الگوهای توزیع مختلف

شکل 4 اثرات هندسه و اندازه نانوپرکننده های GPL را از نظر طول به

نسبت ضخامت
GPL GPL

نسبت طول به عرض
GPL GPL

در بنیادی بدون بعد

فرکانس صفحه نانوکامپوزیت / اپوکسی، که در آن طول GPL IGPL ثابت باقی می ماند. توجه داشته باشید

که $IGPL/WGPL = 1$ و $IGPL/WGPL = 1$ مربوط به یک GPL مربع شکل و یک GPL مستطیلی شکل است،

به ترتیب. افزایش قابل توجهی در فرکانس طبیعی با افزایش نسبت $h /$ اهمه مشاهده می شود

تا $IGPL/hGPL = 1000$ ، و به دنبال آن با افزایش بیشتر $IGPL/hGPL$ اندکی افزایش بیشتر خواهد داشت.

از آنجایی که نسبت $IGPL/hGPL$ بالاتر عملاً نشان دهنده GPL هایی با لایه های گرافن کمتر است، این مشاهدات

به وضوح نشان می دهد که GPL با لایه های کمتر در بهبود طبیعی موثرتر است

فرکانس ها نتایج همچنین نشان می دهد که، صرف نظر از نحوه توزیع LPG ها، صفحه با تقویت شده است

GPL های مربعی ($IGPL/WGPL = 1$) فرکانس های طبیعی بزرگتری نسبت به GPL های مستطیلی تقویت شده دارند.

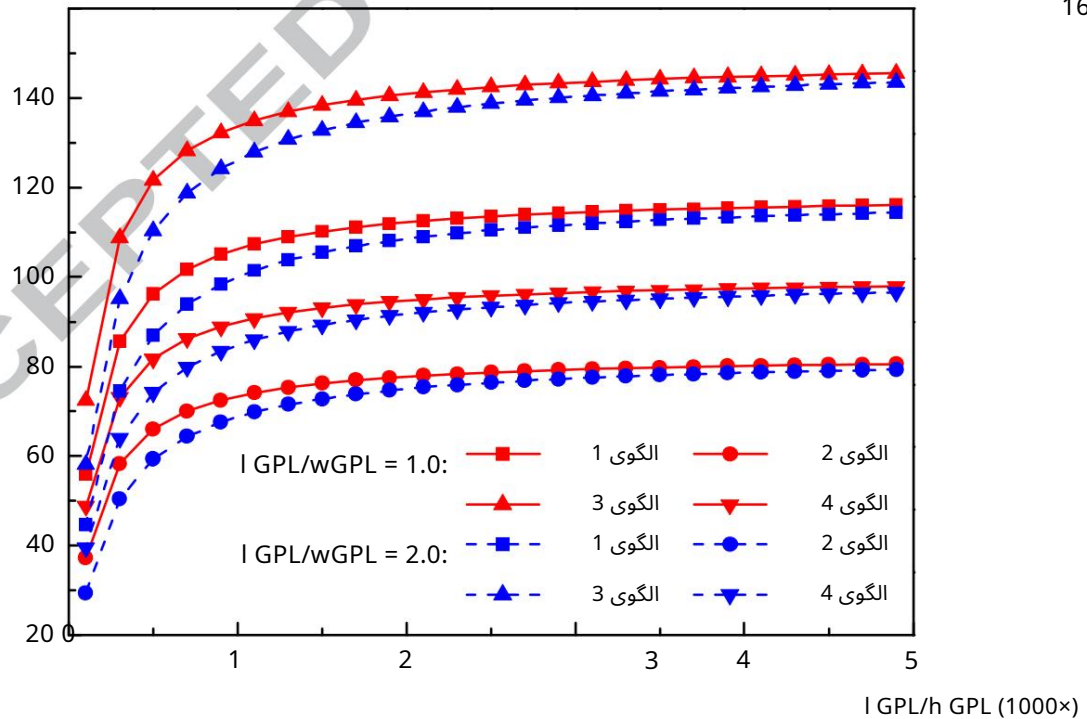
($IGPL/WGPL = 2$) به عبارت دیگر، GPL ها با سطح بزرگتر نانوپرکننده های تقویت کننده بهتری نسبت به آن هستند

همتایان خود با سطح کمتر. این به این دلیل است که با همان مقدار GPL بزرگتر است

منطقه تماس بین ماتریس پلیمری و GPL ها انتقال بار بهتری را فراهم می کند و در نتیجه منجر به

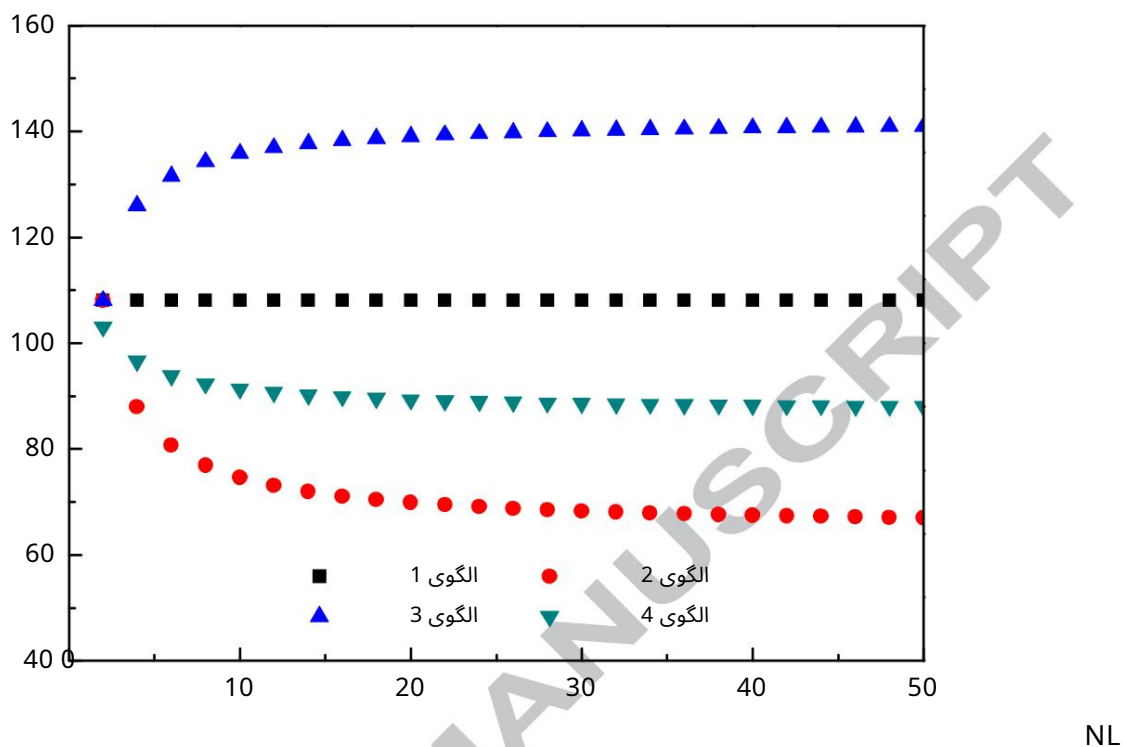
سختی سازه بالاتر

160



شکل 4. اثرات نسبت طول به ضخامت و طول به عرض GPL بر درصد اساسی

تغییر فرکانس برای صفحات نانوکامپوزیت GPL/اپوکسی



شکل 5. اثر تعداد کل لایه های NL بر درصد تغییر فرکانس اساسی برای صفحات نانوکامپوزیت GPL/اپوکسی

شکل 5 تغییر فرکانس نسبی صفحات GPL/اپوکسی را با تعداد کل متفاوت نشان می دهد لایه های NL. همانطور که انتظار می رود، فرکانس های اساسی صفحات با الگوی توزیع GPL 1 هستند تحت تأثیر NL قرار نمی گیرند زیرا آنها همگن هستند. برای صفحاتی که GPL ها به طور غیریکنواخت پراکنده شده اند، فرکانس های اساسی آنها با افزایش تعداد کل لایه ها به $NL = 10 \sim 15$ کاهش می یابد و سپس هنگامی که NL بیشتر برای الگوهای توزیع GPL 2 و 4 افزایش می یابد تقریباً بدون تغییر باقی می ماند. با این حال، برای الگوی توزیع GPL 3 معکوس شده است. فرکانس اساسی صفحه با الگوی GPL 4 کمترین تحت تأثیر تغییر NL است.

4.2 لرزش اجباری

برای تحلیل ارتعاش اجباری در این بخش، یک بار پالس فشار مثلثی نشان داده شده در شکل 6 نشان داده شده است.

به عنوان مثال در نظر گرفته شده است که به صورت

$$T = \begin{cases} 0 & 0 \leq t < 1 \\ \frac{t-1}{2} & 1 \leq t < 2 \\ 0 & 2 \leq t < 3 \end{cases} \quad (50)$$

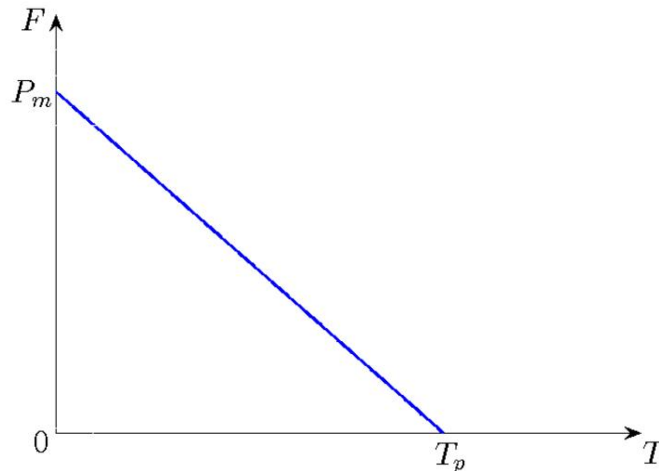
که در آن P_m اوج فشار پالس است، T_p مدت زمان بارگذاری پالس است. سپس در معادله (44)

$$p = \frac{P_m}{E_m} \left(1 - \frac{t}{T_p} \right)^m, \quad 0 \leq t \leq T_p, \quad \text{و} \quad p = 0, \quad t < 0 \text{ و } t > T_p$$

$$p = \frac{P_m}{E_m} \sqrt{\frac{t}{T_p}}$$

در ادامه، فرض بر این است که فشار پالس اوج است $P_m = 500 \text{ Pa}$

مدت زمان بارگذاری T_p 0.01 ثانیه است.



شکل 6. یک بار پالس فشار مثلثی

مطالعه همگرایی برای اولین بار در شکل 7 انجام شده است که در آن پاسخ انحراف مرکزی بدون بعد است

از یک صفحه نانوکامپوزیت GPL/اپوکسی (الگوی توزیع $(NL = 10)$ ، GPL زمانی که $M = N$ و $M = N = 1$)

با $\beta = 5$ هم مقایسه می شوند. همانطور که مشاهده می شود، راه حل یک جمله ($M = N = 1$) در سری فوریه دوگانه (43)-(39)

برای به دست آوردن یک نتیجه همگرا کافی هستند. از آنجایی که هیچ نتیجه موجود در حالت باز موجود نیست

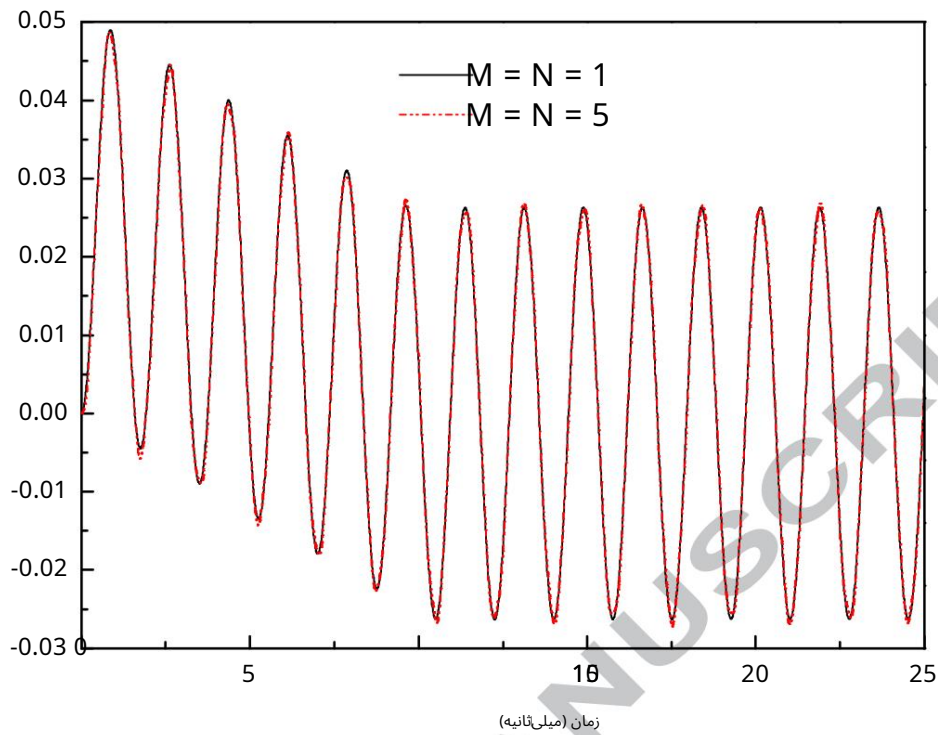
ادبیات تجزیه و تحلیل دینامیکی صفحات نانوکامپوزیت GPL/پلیمر با درجه بندی عملکردی، ما

نتایج در شکل 8 با نتایج المان محدود (FE) به دست آمده با استفاده از تجارت مقایسه شده است

بسته نرم افزاری ABAQUS برای پاسخ انحراف مرکزی بدون بعد یک صفحه اپوکسی بکر

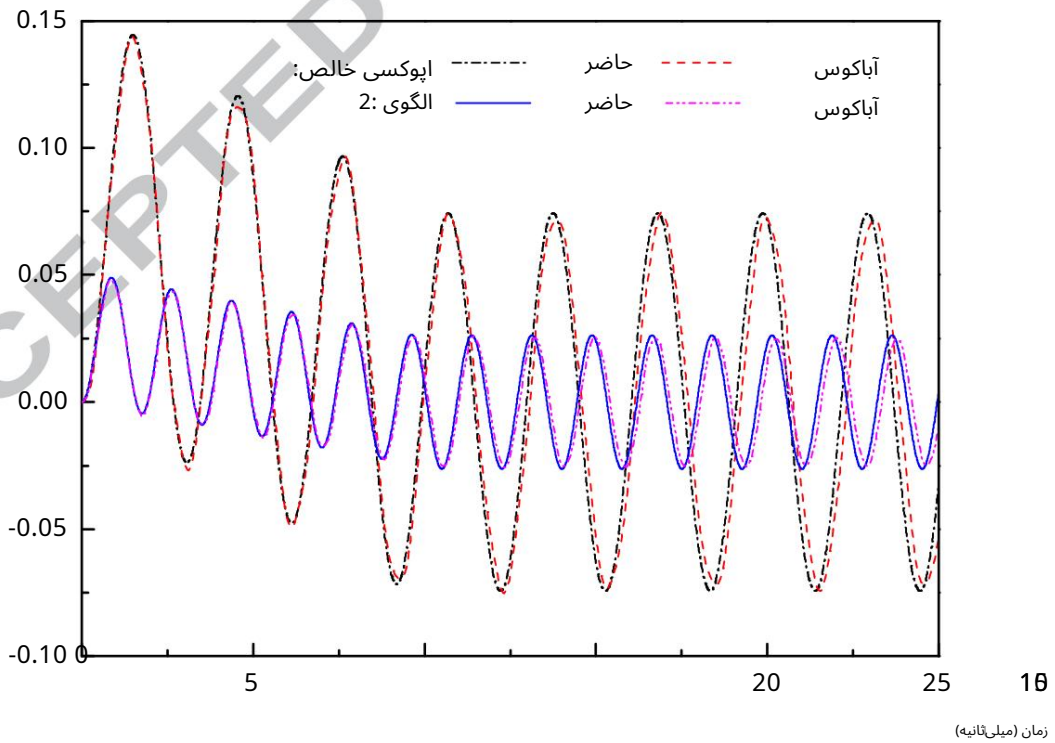
و یک صفحه نانوکامپوزیت با الگوی توزیع GPL 2 در مدل FE چهار گره معمولی

از المان های پوسته (S4R) با شبکه مشبک 40×40 استفاده شده است. توافق عالی حاصل شده است.



شکل 7. پاسخ انحراف مرکزی بدون بعد صفحه نانوکامپوزیت / GPL اپوکسی: همگرایی

مطالعه.



شکل 8. پاسخ های انحراف مرکزی بدون بعد یک صفحه اپوکسی بکر و یک / GPL اپوکسی

صفحه نانوکامپوزیت: مقایسه با نتایج FE

شکل 9 پاسخ های انحراف مرکزی بدون بعد یک صفحه اپوکسی خالص و GPL/اپوکسی را مقایسه می کند.

صفحات نانوکامپوزیت با الگوهای مختلف توزیع GPL. ظاهراً صفحه اپوکسی بکر دارد

پاسخ دینامیکی بسیار بزرگتر از پاسخ های تقویت شده توسط LPGها. این امر قابل توجه را نشان می دهد

اثر تقویت کننده افزودن مقدار بسیار کمی از GPL به ماتریس پلیمری.

برای شکل 10 اثر کسر وزنی GPL و GPL را بر حداکثر نسبت انحراف /ff نشان می دهد.

الگوهای توزیع مختلف که در آنها α و β بیانگر حداکثر انحراف مرکزی دینامیکی هستند

نسبت مطابقت دارد صفحات با و بدون GPL به ترتیب. واضح است که β کوچکتر /

یک اثر تقویت کننده قوی تر با ادغام GPLها. کاهش قابل توجه در انحراف دینامیکی است

با افزایش کسر وزنی GPL مشاهده می شود. به عنوان مثال، توزیع تنها 1.0% وزنی GPLs

با توجه به الگوی توزیع 3 می تواند انحراف مرکزی دینامیکی کمتری را ایجاد کند

تنها 20 درصد از صفحه اپوکسی خالص.

مشابه مشاهدات در تجزیه و تحلیل ارتعاش آزاد، نتایج در شکل 9 و 10 این راه را نشان می دهد

LPGهای توزیع شده نیز نقش مهمی در پاسخ دینامیکی صفحه دارد. متقارن

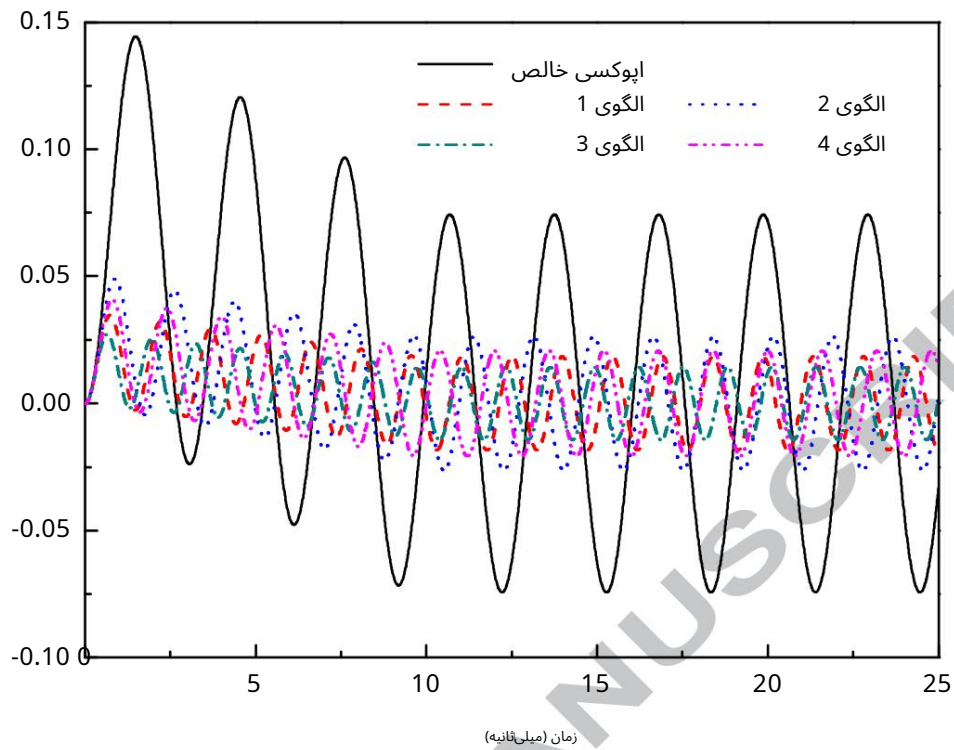
الگوی توزیع 3 کمترین انحراف دینامیکی را نشان می دهد و به دنبال آن الگوی یکنواخت 1 نامتقارن است

الگوی 4 سپس الگوی متقارن 2 که نامطلوب ترین راه برای پراکندگی در نظر گرفته می شود

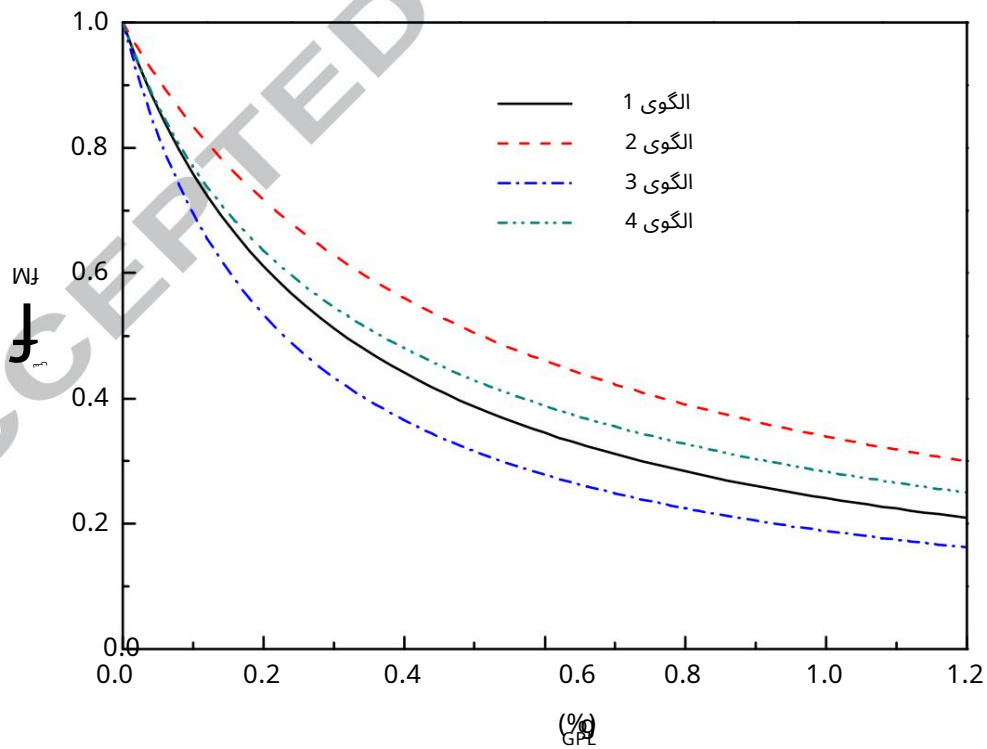
GPLها این دوباره تأیید می کند که در همان مقدار، GPL پراکندگی نانوپرکننده های GPL بیشتری در نزدیکی است

سطوح بالا و پایین صفحات موثرترین راه برای کاهش پاسخ های دینامیکی است

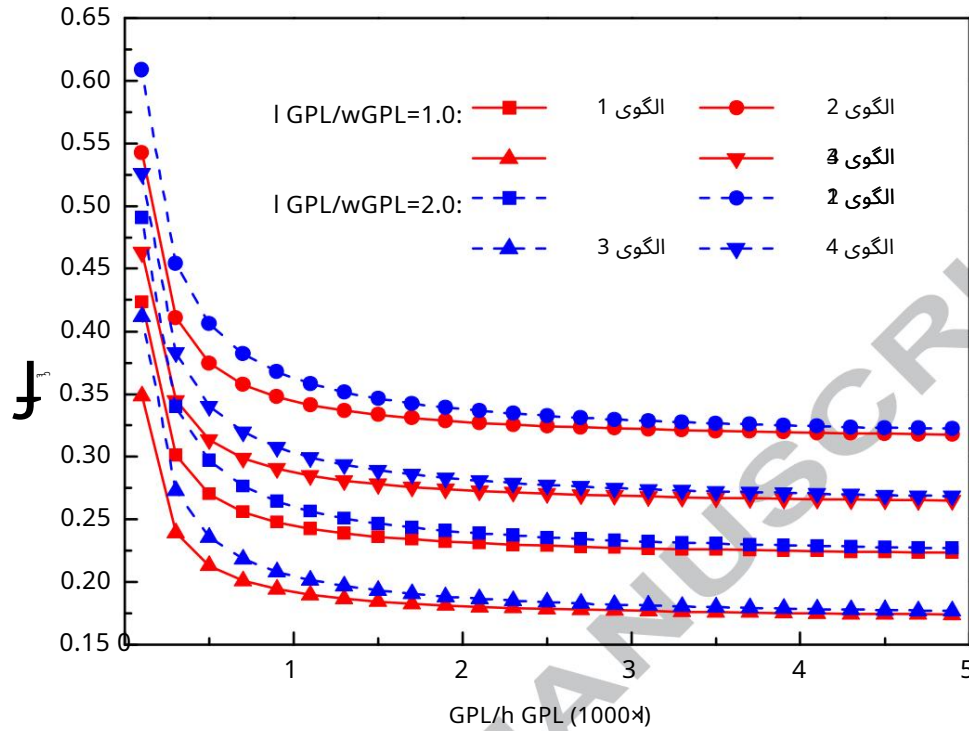
بشقاب ها



شکل 9. پاسخ های انحراف مرکزی بدون بعد صفحات نانوکامپوزیت GPL/اپوکسی.



برای صفحات نانوکامپوزیت GPL/اپوکسی. شکل 10. اثر کسر وزنی GPL بر ω/ω_0



شکل 11. اثرات نسبت طول به ضخامت و طول به عرض GPL بر J برای GPL/اپوکسی

صفحات نانوکامپوزیتی

شکل 11 اثرات نسبت طول به ضخامت h_{GPL} و نسبت طول به عرض را مطالعه می کند.

برای صفحات نانوکامپوزیت GPL/اپوکسی با w/h_{am} ابر روی حداکثر نسبت انحراف دینامیکی J / GPL GPL

الگوهای مختلف توزیع شده نتایج نشان می دهد که در مقایسه با GPL های مستطیلی شکل ($w/h = 1$)

GPL (2.0) های مربع شکل ($w/h = 1.0$) نانوپرکننده های تقویت کننده هستند که منجر به پویایی پایین تر می شوند.

انحراف. حداکثر انحراف دینامیکی به طور قابل توجهی با افزایش نسبت h کاهش می یابد.

به عبارت دیگر، با استفاده از GPL با تک لایه های گرافن کمتر. با این حال، افزایش بیشتر در

h هنگامی که از 1000 فراتر رود، فقط انحراف دینامیکی نسبتاً کمی کاهش می یابد. GPL GPL

تأثیر تعداد کل لایه های NL بر حداکثر نسبت انحراف دینامیکی J /

صفحات نانوکامپوزیت GPL/اپوکسی در شکل 12 نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، انحراف دینامیکی

با افزایش NL برای هر دو الگوی توزیع GPL 2 و 4 افزایش می‌یابد، اما برای هر دو الگوی توزیع GPL کمتر می‌شود الگوی توزیع 3. با این حال، وقتی 10-15 NL باشد، انحراف دینامیکی تقریباً ثابت است

حتی زمانی که NL بیشتر افزایش می‌یابد. برای هر الگوی توزیع، 10 لایه برای به دست آوردن آن کافی است

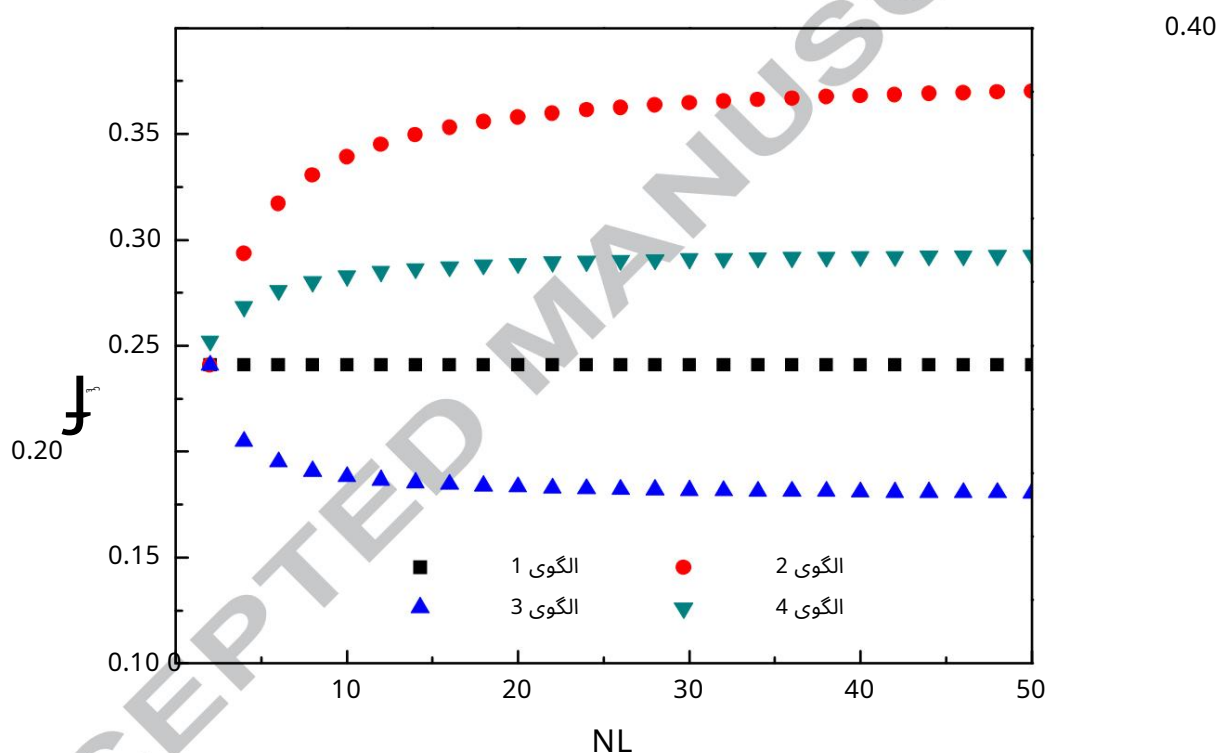
نتیجه همگرایی مربوطه برای پاسخ پویا. این با ارتعاش آزاد مطابقت دارد

نتایج در شکل 5، هر دو نشان می‌دهد که از منظر تولید، ساختار چند لایه با

10 تا 15 لایه انباشته شده به اندازه کافی دقیق است که پیوسته و صاف مورد نظر را تقریب کند

تغییر ضخامت در توزیع GPL که به دلیل محدودیت غیرممکن است ساخته شود

فناوری فعلی ساخت در نانوکامپوزیت های مبتنی بر گرافن



شکل 5. برای صفحات نانوکامپوزیت / GPL اپوکسی. اثر تعداد کل لایه های NL بر / ff

5. نتیجه گیری

رفتارهای ارتعاشی آزاد و اجباری نانوکامپوزیت چند لایه GPL/پلیمر با درجه بندی عملکردی

صفحات در چارچوب تئوری تغییر شکل برشی مرتبه اول بررسی شده اند. ناوبر

روش مبتنی بر راه حل برای به دست آوردن فرکانس های طبیعی و پاسخ دینامیکی ساده استفاده می شود

صفحات پشتیبانی شده در معرض بارگذاری پالس. اثرات الگوی توزیع، GPL کسر وزنی،

هندسه و اندازه و همچنین تعداد کل لایه ها بر روی مشخصات دینامیکی صفحات می باشد

از طریق یک مطالعه پارامتریک به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت. مشخص شده است که (1) مقدار بسیار کمی اضافه شده است GPLها می توانند به طور قابل توجهی فرکانس های طبیعی را افزایش داده و پاسخ ارتعاش اجباری را کاهش دهند بشقاب ها؛ (2) پراکندگی GPLهای مربع شکل بیشتر که از لایه های گرافن کمتری در نزدیکی آن تشکیل شده است سطوح بالا و پایین صفحه موثرترین راه برای تقویت صفحه برای افزایش است فرکانس های طبیعی و کاهش قابل ملاحظه انحرافات دینامیکی. (3) یک ساختار چند لایه با 10 ~ 15 لایه های جداگانه روی هم می توانند به نمایه ترکیبی درجه بندی شده عملکردی مطلوب دست یابند دقت کافی و در عین حال هزینه ساخت نسبتاً پایین

سپاسگزاریها

این کار به طور کامل توسط کمک هزینه تحقیقاتی شورای تحقیقات استرالیا تحت دیسکاواری تامین می شود طرح پروژه (DP160101978) نویسندگان از حمایت مالی تشکر می کنند. دکتر میتائو سانگ است همچنین از حمایت بنیاد ملی علوم طبیعی چین (Grant No. 11302087).

منابع

- [1] بلوچی S, Balasubramanian C, Micciulla F, Rinaldi G. کامپوزیت های CNT برای کاربردهای هوافضا. مجله تجربی نانو علوم. 2007; 2 (3): 193-206.
- [2] Adam H. فیبر کربن در کاربردهای خودرو. مواد و طراحی. 1997; 18 (4-6): 349-355.
- [3] Gauvin F, Robert M. مطالعه دوام نانوکامپوزیت های وینیل استر/سیلیکات برای مهندسی عمران برنامه های کاربردی. تخریب و پایداری پلیمر. 2015; 121: 359-368.
- [4] برادران س، مقدم ای، بصیرون وجی، مهرعلی م، سوخاکیان م، حمدی م، نخعی. مقدم MR، نام مستعار Y. خواص مکانیکی و کاربردهای زیست پزشکی نانولوله کامپوزیت گرافن اکسید احیا شده با هیدروکسی آپاتیت کربن. 2014; 69: 32-45.
- [5] Huang X, Qi X, Boey F, Zhang H. کامپوزیت های مبتنی بر گرافن. بررسی های انجمن شیمی. 2012; 41 (2): 666-686.
- [6] Rafiee MA, Rafiee J, Wang Z, Song H, Yu ZZ, Koratkar N. نانوکامپوزیت ها با محتوای گرافن کم. ACS Nano 2009; 3 (12): 3884-3890.

Rafiee MA, Rafiee J, Yu ZZ, Koratkar N. [7] نانوکامپوزیت‌های گرافن مقاوم در برابر کمانش. کاربردی

Physics Letters 2009; 95 (22): 223103.

Rafiee MA, Rafiee J, Srivastava I, Wang Z, Song H, Yu ZZ, Koratkar N. [8] شکستگی و خستگی در

نانوکامپوزیت های گرافن کوچک. 2010; 6 (2): 179-183.

Potts JR, Dreyer DR, Bielawski CW, Ruoff RS. [9] نانوکامپوزیت های پلیمری مبتنی بر گرافن پلیمر

2011; 52 (1): 5-25.

[10] منتظری ع، رفیعی تبار ح. مدلسازی چند مقیاسی تقویت شده مبتنی بر گرافن و نانولوله

نانوکامپوزیت های پلیمری. Physics Letters A 2011; 375 (45): 4034-4040.

[11] مرتضوی ب، بنزرآرا او، مایر اچ، باردون جی، اهزی س. دینامیک مولکولی ترکیبی -محدود

مدلسازی چند مقیاسی عنصر هدایت حرارتی در نانوکامپوزیت‌های اپوکسی گرافن کربن; 2013;

60: 356-365.

Wang Y, Yu J, Dai W, Song Y, Wang D, Zeng L, Jiang N. [12] حرارتی و الکتریکی پیشرفته

خواص کامپوزیت های اپوکسی تقویت شده با نانوپلاکت های گرافن کامپوزیت های پلیمری; 2015;

36 (3): 556-565.

King JA, Klimek DR, Miskioglu I, Odegard GM. [13] خواص مکانیکی گرافن

کامپوزیت های نانوپلاکت/اپوکسی مجله علمی کاربردی پلیمر. 2013; 128 (6): 4217-4223.

Fang M, Wang K, Lu H, Yang Y, Nutt S. [14] عامل دار کردن پلیمر کووالانسی گرافن

نانو ورق ها و خواص مکانیکی کامپوزیت ها مجله شیمی مواد; 2009; 19 (38):

7098-7105.

Zhao X, Zhang Q, Chen D, Lu P. [15] بهبود خواص مکانیکی پلی (وینیل) مبتنی بر گرافن

الکل کامپوزیت ها. Macromolecules 2010; 43 (5): 2357-2363.

Wang F, Drzal LT, Qin Y, Huang Z. [16] خواص مکانیکی و هدایت حرارتی گرافن

کامپوزیت های نانوپلاکت/اپوکسی مجله علم مواد. 2015; 50 (3): 1082-1093.

Ji XY, Cao YP, Feng XQ. [17] پیش‌بینی میکرومکانیک مدول الاستیک مؤثر گرافن

نانوکامپوزیت های پلیمری تقویت شده با ورق مدلسازی و شبیه سازی در علم مواد و

مهندسی. 2010; 18 (4): 045005.

Rahman R, Haque A. [18] مدلسازی مولکولی نانوکامپوزیت‌های گرافن-اپوکسی متقابل برای

Composites: Part B 2013; 54: 353-364. توصیف ثابت های الاستیک و خواص سطحی

[19] Liu F, Hu N, Ning H, Liu Y, Li Y, Wu L. شبیه سازی دینامیک مولکولی در مکانیک سطحی

خواص نانوکامپوزیت های پلیمری با گرافن چروکیده علوم مواد محاسباتی; 2015;

108: 160-167.

[20] Spanos KN, Georgantzinos SK, Anifantis NK. خواص مکانیکی نانوکامپوزیت های گرافن:

یک پیش‌بینی المان محدود چند مقیاسی سازه های ترکیبی. 2015; 132: 536-544.

[21] شن اچ اس. خمش غیرخطی صفحات کامپوزیت تقویت شده با نانولوله کربنی درجه بندی شده عملکردی

در محیط های حرارتی سازه های مرکب. 2009; 91 (1): 9-19.

[22] Wu HL, Yang J, Kitipornchai S. ارتعاش غیرخطی نانولوله کربنی درجه بندی شده عملکردی

تیرهای کامپوزیت تقویت شده با عیوب هندسی. کامپوزیت ها قسمت B: مهندسی; 2016; 90:

86-96.

[23] Rafiee M, Yang J, Kitipornchai S. کماتش انشعاب حرارتی نانولوله کربنی پیزوالکتریک

تیرهای کامپوزیت تقویت شده کامپیوتر و ریاضیات با برنامه های کاربردی. 2013; 66 (7): 1147-1160.

[24] Rafiee M, Yang J, Kitipornchai S. ارتعاشات دامنه بزرگ نانولوله کربنی تقویت شده

تیرهای کامپوزیت با لایه های پیزوالکتریک. سازه های ترکیبی. 2013; 96: 716-725.

[25] Ke LL, Yang J, Kitipornchai S. ارتعاش آزاد غیرخطی نانولوله کربنی درجه بندی شده عملکردی

تیرهای کامپوزیت تقویت شده سازه های مرکب. 2010; 92 (3): 676-683.

[26] Ke LL, Yang J, Kitipornchai S. پایداری دینامیکی نانولوله کربنی درجه بندی شده عملکردی

تیرهای کامپوزیت تقویت شده مکانیک مصالح و سازه های پیشرفته. 2013; 20 (1): 28-37.

[27] Wu HL, Kitipornchai S, Yang J. تحلیل ارتعاش و کماتش رایگان تیرهای ساندویچی با

ورق های کامپوزیتی تقویت شده با نانولوله کربنی درجه بندی شده عملکردی. مجله بین المللی

پایداری و پویایی سازه (17): 1540011 (7): 2015; 15 (صفحه).

[28] انصاری ر، شجاعی MF، محمدی وی، غلامی ر، صادقی ف. تحلیل ارتعاش اجباری غیرخطی

از تیرهای تیموشنکو کامپوزیت تقویت شده با نانولوله کربنی درجه بندی شده عملکردی کامپوزیت

Structures 2014; 113: 316-327.

[29] Long XJ, Li B, Wang L, Huang JY, Zhu J, Luo SN. پاسخ شوک نانولایه مس/گرافن

کامپوزیت ها کربن. 2016; 103: 457-463.

- Rissanou AN, Power AJ, Harmandaris V. [30] خواص ساختاری و دینامیکی نانوکامپوزیت های پلی اتیلن/گرافن از طریق شبیه سازی دینامیک مولکولی پلیمرها: (3) 7; 2015: 390-417.
- [31] Chandra Y, Chowdhury R, Scarpa F, Adhikari S, Sienz J, Arnold C, Murmu T, Bould D. Vibration فرکانس کامپوزیت های مبتنی بر گرافن: یک رویکرد چند مقیاسی علوم و مهندسی مواد ب 2012; 177 (3): 303-310.
- Guzmán de Villoria R, Miravete A. [32] مدل مکانیکی برای ارزیابی اثر پراکنندگی در نانوکامپوزیت ها. Acta Materialia 2007; 55 (9): 3025-3031.
- Halpin JC, Kardos JL. [33] معادلات Halpin-Tsai بررسی مهندسی و علوم پلیمر; 1976: 16 (5): 344-352.
- Reddy JN. [34] مکانیک صفحات و پوسته های کامپوزیتی چند لایه: تئوری و تجزیه و تحلیل. مطبوعات CRC! 2004.
- Cash JR, Karp AH. [35] یک روش Runge-Kutta مرتبه متغیر برای مسائل مقدار اولیه با سرعت سمت راست متفاوت. ACM Transactions on Mathematical Software 1990; 16 (3): 201-222.
- Matsunaga H. [36] ارتعاش آزاد و پایداری صفحات درجه بندی عملکردی بر اساس 2-بعدی بالاتر نظریه تغییر شکل نظم سازه های مرکب. 2008; 82 (4): 499-512.
- Reddy JN, Cheng ZQ. [37] راه حل های سه بعدی صفحات هوشمند با درجه بندی عملکردی. مجله مکانیک کاربردی-معاملات. ASME 2001; 68 (2): 234-241.
- Ramirez F, Heyliger PR, Pan E. [38] تجزیه و تحلیل استاتیکی صفحات ناهمسانگرد الاستیک درجه بندی شده عملکردی با استفاده از رویکرد لایه گسسته. Composites: Part B 2006; 37 (1): 10-20.
- [39] شاکری محمد، میرزایی فر رضا. تحلیل استاتیکی و دینامیکی صفحات ضخیم درجه بندی عملکردی با لایه های پیزوالکتریک با استفاده از مدل المان محدود لایه ای مکانیک مواد پیشرفته و Structures 2009; 16 (8): 561-575.
- Aksoylar C, Omercikoglu A, Mecitoglu Z, Omurtag MH. [40] تجزیه و تحلیل غیرخطی گذرا FGM و صفحات FML تحت بارهای انفجاری به روش تجربی و مخلوط FE. سازه های ترکیبی; 2012: 94 (2): 731-744.
- Yasmin A, Daniel IM. [41] خواص مکانیکی و حرارتی کامپوزیت های پلاکت/اپوکسی گرافیت

پلیمر. 2004; 45 (24): 8211-8219.

Liu F, Ming P, Li J. Ab [42] محاسبه اولیه قدرت ایده آل و ناپایداری فونون گرافن تحت

تنش. Physical Review B 2007; 76(6): 064120.

پیوست اول

عملگرهای دیفرانسیل در معادله. (31)-(35) هستند

$$L_{11} = L \alpha_{11} \frac{\square^2}{\square} + \alpha \beta^2 \bar{1} \frac{\square^2}{2}, \quad L_{12} = \alpha \beta \frac{AA}{12} + \frac{\square^2}{33 \square \square xy}, \quad L_{13} = \frac{\square^2}{\square} + 2\beta^2 \frac{\square^2}{2}$$

$$L_{14} = \beta \frac{BB}{12} + \frac{\square^2}{33 \square \square xy}, \quad \varphi$$

$$L_{21} = \alpha \beta \frac{AA}{12} + \frac{\square^2}{33 \square \square xy}, \quad L_{22} = L \alpha_{33} \frac{\square^2}{2} + \alpha \beta^2 \bar{1} \frac{\square^2}{2}, \quad L_{23} = \beta \frac{BB}{12} + \frac{\square^2}{33 \square \square xy}$$

$$L_{24} = \frac{\square^2}{\square} + 2\beta^2 \frac{\square^2}{2}$$

$$L_{31} = L k \alpha_{22} \frac{\square^2}{2k} + \alpha \beta^2 k K_{11} \frac{\square^2}{\square}, \quad L_{32} = k K_{22} \frac{\square^2}{\square}, \quad L_{33} = L k \beta_{11} \frac{\square^2}{\square}$$

$$L_{41} = \frac{\square^2}{\square} + \beta^2 \frac{\square^2}{2}, \quad L_{42} = \beta \frac{BB}{12} + \frac{\square^2}{33 \square \square xy}, \quad L_{43} = k K_{22} \frac{\square^2}{\square}$$

$$L_{44} = \frac{1}{\alpha} D_{11} \frac{\square^2}{\square} + \frac{\beta^2}{\alpha} D_{33} \frac{\square^2}{2} - \frac{K_{KS}}{\alpha} \frac{\square^2}{2}, \quad L_{45} = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{LDD}{12} + \frac{\square^2}{33 \square \square xy} \right)$$

$$L_{51} = \beta \frac{BB}{12} + \frac{\square^2}{33 \square \square xy}, \quad L_{52} = \frac{\square^2}{\square} + 2\beta^2 \frac{\square^2}{2}, \quad L_{53} = k K_{11} \frac{\square^2}{\square}$$

$$L_{54} = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{LDD}{12} + \frac{\square^2}{33 \square \square xy} \right), \quad L_{55} = \frac{1}{\alpha} D_{33} \frac{\square^2}{\square} + 2\beta^2 \frac{\square^2}{2} - \frac{K_{KS}}{\alpha} \frac{\square^2}{2}$$

ضمیمه B

ضرایب نشان داده شده در معادله (43) هستند

$$11 = m H I_1^2, \quad 22 = m H I_1^2, \quad 33 = 0, \quad 44 = m H I_1^2, \quad 55 = m H I_1^2$$

$$11_s = \pi^2 \left(m I A I_{11} \right) + \beta^2 \left(n I A I_{33} \right)$$

$$12_s = \pi^2 \left(-112 \right) \left(m n I A I B I_{33} \right)$$

$$13_s = -k m K_{122}$$

$$14 = \frac{m I B I_{11}}{211} \alpha^2 \beta^2 \pi^2 - \frac{1}{233} \alpha^2 - \frac{k K_{22}}{I B I_{22}}$$

$$15 = \pi^2 \left(212 - \frac{1}{\alpha} 12 \right) + \frac{m n I B D I B_{33}}{\alpha} \beta^2$$

$$21_s = \pi^2 \left(-112 \right) \left(m n I A I B I_{33} \right)$$

$$22_s = \pi^2 \beta^2 \left(\alpha_{22} - 122 \right) + \left(n I A I B m I A I_{33} \right)$$

$$23_s = -k n K_{11}$$

$$24 = \pi^2 \left(212 - \frac{1}{\alpha} 12 \right) + \frac{m n I B D I B_{33}}{\alpha} \beta^2$$

$$25_s = \beta^2 \pi^2 \left(I_{11} I_{22} \alpha^2 - \frac{1}{233} \alpha^2 - \frac{k K_{11}}{I B I_{11}} \right)$$

$$34 = 0$$

$$35 = 0$$

$$33_s = \pi \alpha^2 \left(k n K m K + 1 \beta^2 \right)$$

$$k m K_{122}$$

$$35_s = k n K_{11} \beta$$

$$41_s = \pi^2 \left(m I B I_{11} \right) + \beta^2 \left(n I B I_{33} \right)$$

$$42 = \pi^2 \left(-112 \right) \left(m n I B I A I B_{33} \right)$$

$$I_k m K_{\pi}.$$

$$\bar{44} = \frac{0}{\alpha} \frac{DI B}{11} \frac{22}{\pi 11} \frac{00}{\pi} \frac{00}{\pi} \frac{22}{\alpha} \frac{22}{\beta} \frac{n}{\beta} \frac{DI B}{\beta} \frac{00}{\beta} + \frac{0}{\alpha} k K_{22}.$$

$$45 = \pi^2 \frac{0}{\alpha} \frac{12}{\pi} \frac{DI B}{\beta} \frac{0000}{\beta} + \frac{0}{\alpha} \frac{33}{\beta} \frac{DI B}{\beta} \frac{0000}{\beta},$$

$$51 = \pi^2 \frac{0}{\alpha} \frac{12}{\beta} \frac{DI B}{\beta} \frac{0000}{\beta} + \frac{0}{\alpha} \frac{33}{\beta} \frac{DI B}{\beta} \frac{0000}{\beta},$$

$$52 = \pi^2 \beta^{22} \left(\frac{0}{\alpha} \frac{22}{\beta} \frac{DI B}{\beta} \frac{0000}{\beta} + \frac{0}{\alpha} \frac{33}{\beta} \frac{DI B}{\beta} \frac{0000}{\beta} \right) + \frac{0}{\alpha} \frac{33}{\beta} \frac{DI B}{\beta} \frac{0000}{\beta},$$

$$s_{53} = \frac{0}{\alpha} \frac{11}{\beta} \frac{DI B}{\beta} \frac{0000}{\beta}.$$

$$54 = \pi^2 \frac{0}{\alpha} \frac{12}{\pi} \frac{DI B}{\beta} \frac{0000}{\beta} + \frac{0}{\alpha} \frac{33}{\beta} \frac{DI B}{\beta} \frac{0000}{\beta},$$

$$s_{55} = \pi \beta^{22} \frac{0}{\alpha} \frac{22}{\beta} \frac{DI B}{\beta} \frac{0000}{\beta} \frac{00}{\beta} \frac{22}{\alpha} \frac{00}{\beta} \frac{m}{\beta} \frac{DI B}{\beta} \frac{00}{\beta} + \frac{0}{\alpha} k K_{11}.$$

ACCEPTED MANUSCRIPT