**Міністерство освіти і науки України**

**Київський національний університет імені Тараса Шевченка**

**Кваліфікаційна наукова**

**праця на правах рукопису**

**Хашемі Мохаммад**

**УДК 539.3**

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**Термомеханічна стійкість та втомна поведінка**

**в’язкопружних нанокомпозитних елементів конструкцій**

**при статичному і циклічному навантаженні**

**01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла**

**Подається на здобуття наукового ступеня**

**кандидата фiзико-математичних наук**

**Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,**

**результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело**

**М. Хашемі**

**Науковий керiвник**

**Жук Ярослав Олександрович**

**доктор фiзико-математичних наук, професор**

**Київ – 2018**

ЗМСТ

Вступ……………………………………………………………………………

РозділОГЛЯДЛІТЕРАТУРИ……………………………………………

Сучаснийстанзнаньпомоделюваннюнепружноїреакції

полімернихкомпозитів………………………………………………

Полімернаматрицятаепоксиднасмола……………………

Нановключеннятаволокназвуглецевих

нанотрубок……………………………………………

Областьміжфазногоконтактуволокно–матриця…………

Мікро–тамакромеханічнімоделі……………………………

Сучаснийстанзнаньвобластітепловоготамеханічного

втомногоруйнуваннякомпозитнихелементівконструкцій

прициклічномунавантаженні………………………………………

РозділМОДЕЛЮВАННЯПОВЕДІНКИНАНОКОМПОЗИТНОГО

МАТЕРІАЛУ………………………………………………………

Моделюваннянепружноїповедінкикомпонентматеріалу…

Моделюваннямеханічноїповедінкиматриці………………

Моделюваннямеханічноїповедінкинановолокна…………

Моделюваннямеханічноїповедінкиобластіміжфазного

контактуматриця–волокно…………………………………

Моделюваннянепружноїповедінкиполімерного

нанокомпозиту………………………………………………………

Принциппружно–непружноїаналогії………………………

РозробкапідходуМТдлявипадкувязкопружноїповедінки

компонентів……………………………………………………

РозробкапідходуМТзврахуваннямвпливуобластіміжфазного

контакту………………………………………………………

ВисновкидоРозділу…………………………………………………ВИСНОВКИ

Дисертаційнароботаприсвяченадослідженнюособливостейтавпливу

внутрішньоїструктуринанокомпозитнихматеріалівнавібраційніхарактеристики

елементівконструкційізурахуваннямоб’ємноговмістутаорієнтації

нановключеньВроботівивченонелінійнуповедінкутонкостіннихполімерних

нанокомпозитнихелементівконструкційтаїхчутливістьдопараметрів

гармонічногонавантаженняприрізнихумовахзаякихспостерігаєтьсялінійната

нелінійнав’язкопружнареакціяматеріалуприінтенсивнихколиванняхЗцією

метоюциклічніхарактеристикинанокомпозитнихматеріалівпри

моногармонічномунавантаженнівизначаютьсяякфункціїамплітуди

навантаженнячастотитатемпературиДослідженовпливоб’ємноговмістута

орієнтаціїнановолоконнаефективніпараметриколивальноїповедінкита

термомеханічноїстійкостітонкостіннихелементівконструкційвиготовленихз

полімернихнанокомпозитівОсновнінауковірезультатироботиможутьбути

узагальненіувиглядінаступнихвисновків

Розвиненонаближенумодельзв’язаноїтермомеханічноїповедінки

фізичнонелінійнихнанокомпозитнихматеріалівпригармонічному

навантаженіЦямодельґрунтуєтьсянаприпущенніпроодночастотну

реакціюматеріалунамоногармонічненавантаженнятавикористовує

концепціюкомплекснихмодулівЗадопомогоюцієїконцепції

встановленозв’язокміжамплітудаминавантаженняіреакцією

нанокомпозитногоматеріалу

Узагальненонаближенумодельдляописанняциклічноїнепружної

поведінкикожноїскладовоїнанокомпозитузвикористаннямкомплексних

модулівприрізнихамплітудахічастотахгармонічногоциклічного

навантаженнязарізнихтемпературДляцьогозастосованопринцип

пружно–непружноїаналогіїдляпредставленнябазовихзв’язківуобласті

перетвореннязамістьчасовоїобластізметоювизначенняв’язкопружної



реакціїнанокомпозитнихматеріалівякфункціїамплітудциклічного

навантаженнячастотитатемператури

Прицьомунелінійнанестаціонарнав’язкопружнаповедінкаполімеру

матеріалуматриціпримоногармонічномукінематичномунавантаженні

уширокомудіапазоніамплітудчастоттатемпературмоделюєтьсяза

допомогоюфеноменологічноїмоделізвикористаннямеволюційних

рівняньдлявнутрішніхзміннихстанувякійвраховуєтьсягідростатичний

ефектПоведінканановолоконвважаєтьсяпружною

Розвиненомодельдляпрогнозуваннянепружноїповедінкиобласті

міжфазноївзаємодіїволокно–матрицяшляхомвикористання

комплексногокоефіцієнтаПуассонаполімерноїматриціприрізних

умовахнавантаження

Розвинутопідхіддоотриманнямакроскопічнихкомплексних

характеристикнанокомпозитногоматеріалушляхомзастосування

модифікованогометодугомогенізаціїщодозволяєпрогнозувати

макроскопічнуповедінкунанокомпозитнихматеріаліввиходячиіз

циклічноїповедінкискладовихнанокомпозиту

Запропонованометодикугомогенізаціїзурахуваннямвпливуповерхні

міжфазногоконтактущоґрунтуєтьсянамодифікованомуметодіМоріТанакатаметодіеквівалентнихвключеньЕшелбіприциклічному

збудженні

Дослідженовпливорієнтаціїнановолоконнамодулінакопиченнятавтрат

наприкладіякізотропногонанокомпозитуздовільноорієнтованими

волокнамитакідлятрансверсально–ізотропногонанокомпозитного

матеріалузоднонаправленоюорієнтацієюнановолоконприциклічномута

статичномунавантаженні

Визначеновпливоб’ємноговмістунаповнювачананепружнуповедінку

полімернихнанокомпозитівпримоногармонічномунавантаженніза

різнихтемпературамплітудічастотнавантаження



Розробленопідхіддорозв’язаннязв’язаноїзадачітермов’язкопружності

наосновінаближеноїпостановкикрайовихзадачдляв’язкопружних

тонкостіннихнанокомпозитнихелементівконструкцій

Розробленометодикудляпрогнозуваннявтратироботоздатності

внаслідоктепловоїнестійкостітонкостіннихнанокомпозитнихелементів

конструкційстриженьприквазістатичномуциклічномудеформуванні

Дослідженовпливдисипативногорозігрівуоб’ємноговмістуйорієнтації

нановолоконнайоговтомнуповедінку

Дослідженовпливоб’ємноговмістуйорієнтаціїнановолоконна

амплітудно–татемпературно–частотніхарактеристикиколивань

полімернихнанокомпозитнихелементівконструкційбалкатакругла

пластинавоколічастотиосновногорезонансуВивченовзаємодію

геометричноїтафізичноїнелінійностейпритакихколиваннях

Розробленометодикувизначеннябезпечнихрежимівколивань

нанокомпозитнихелементівконструкційзметоюзапобіганнявтраті

роботоздатностішляхомвтратистійкостізамеханічнимаботепловим

сценаріємвумовахгармонічногонавантаження

Результатицьогодослідженняєціннимидлясучасноїновітньоїтехнікита

нанотехнологіїоскількивониможутьбутивикористанідляоцінкидовговічності

татепловоївтомноїміцностіполімернихнанокомпозитнихелементів

конструкційприінтенсивномуциклічномунавантаженніатакождля

прийнятноговиборупараметрівдляпроектуванняелементівконструкцій

виготовленихзнанокомпозитнихматеріалівРезультатиданоїдисертаційної

роботиможутьбутивикористанінапрактиціурізнихобластяхпромисловості

длянанокомпозитнихелементівконструкційзавдякиїхвисокійпитомійміцності

такращіймеханічнійітепловійстійкостівумовахвисокоінтенсивних

навантаженьприексплуатаціїнаприкладувійськовійтехніціавтомобільній

промисловостіавіаціїлопатяхвітровихтурбінтакосмічнихапаратах