

А.Ю. Довгополов, аспір.
С.С. Некрасов, к.т.н., доц.
Сумський державний університет

УТВОРЕННЯ РОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАНЬ ДЕТАЛЕЙ З ВУГЛЕПЛАСТИКУ

З метою дослідження можливості утворення компонентів роз'ємних з'єднань деталей машин з вуглепластику, була проведена порівняльна характеристика різних критеріїв міцності, напружень та деформацій, що виникають в основних роз'ємних з'єднаннях з аналогічними параметрами вуглепластикових виробів. На основі проведеного порівняльного аналізу встановлена можливість, розрахунку оптимальних характеристик матеріалу, компонентів з'єднання, завдяки чому встановлена можливість застосування вуглепластику у роз'ємних з'єднаннях, для яких основні критичні напруження задовольнятимуть умовам міцності та жорсткості даного композиційного матеріалу при використанні правильної схеми армування, де основні силові фактори, що виникають в з'єднанні, спрямовані в напрямку армування волокон.

Ключові слова: вуглепластик; роз'ємні з'єднання; напруження; міцність; жорсткість.

Постановка проблеми. Вуглепластики – це композити, що містять як наповнювач вуглецеві волокна. Цей порівняно новий клас композиційних матеріалів, що набув останнім часом найбільш інтенсивного розвитку.

Виготовлення роз'ємних з'єднань з вуглепластику є складним інженерним завданням. Для його успішного вирішення необхідно розрахувати оптимальні характеристики матеріалу компонентів з'єднання, що залежатимуть від кількості шарів композиту, напрямків і послідовності їх укладання.

Основним завданням на етапі розробки компонентів роз'ємних з'єднань з вуглепластику є передбачення того, наскільки воно буде здатне функціонувати в заданих умовах експлуатації. Це вимагає врахування напружень і деформацій, що виникають в з'єднанні, а також розрахунку різних критеріїв міцності деталей з'єднання. При цьому визначаються не лише граничні напруження і прогресуюче руйнування, але й процеси, що пов'язані з розшаруванням, виникненням і зростанням тріщин, а також ціла низка інших фізичних ефектів.

Саме тому авторами запропоновано порівняти напруження, деформації та різні критерії міцності основних роз'ємних з'єднань з такими самими параметрами для виробів з вуглепластику.

Метою даної роботи є порівняльна характеристика різних критеріїв міцності, напружень та деформацій, що виникають в основних роз'ємних з'єднаннях з аналогічними параметрами вуглепластикових виробів, що визначить можливість застосування вуглепластику для виготовлення компонентів роз'ємних з'єднань.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням дослідження напружено-деформованого стану, а також визначення основних характеристик вуглепластику присвячено роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних вчених, серед яких С.М. Верещака, Д.В. Криворучко, А.А. Baker, L.M. Durgao та ін. В роботах С.М. Верещака та Д.В. Криворучка описано основні механічні характеристики вуглепластику та представлено результати порівняння цих характеристик з певними конструкційними матеріалами, що використовуються у машинобудуванні.

Для визначення найбільш раціональної схеми армування вуглепластику для утворення роз'ємних з'єднань авторами були розглянуті схеми армування, детальний опис всіх характеристик яких представлений в роботах А.А. Baker, L.M. Durgao, де на високому рівні описано переваги тієї чи іншої схеми армування.

При опрацюванні публікацій, в яких порушена проблема дослідження напружено-деформованого стану вуглепластику, було встановлено, що раніше питання порівняльного аналізу різних критеріїв міцності, напружень та деформацій, що виникають в основних роз'ємних з'єднаннях з аналогічними параметрами вуглепластикових виробів, ніким з вітчизняних та зарубіжних вчених досить детально не розглядалося. Саме тому в роботі і був проведений аналіз, щоб встановити можливість досягнення поставленої мети.

Викладення основного матеріалу. Властивості вуглепластику при різних напружено-деформованих станах. Композиційні матеріали – це матеріали із двох або більше компонентів, серед яких виділяють волокна (армуючі елементи), що забезпечують необхідні механічні характеристики матеріалу, і матрицю (в'язучий матеріал), що забезпечує спільну роботу волокон [3]. У випадку з вуглепластиком як армуючі елементи використано вуглецеві волокна, а в'язучим матеріалом може бути різна епоксидна смола.

Завдяки такому компонуванню отримується висока питома міцність вуглепластику, механічні характеристики якого визначаються співвідношенням властивостей волокон та матриці, а також

міцністю зв'язків між ними. Працездатність та ефективність такого матеріалу залежать від правильного вибору вихідних компонентів і технологій їх суміщення, саме дані фактори забезпечують міцний зв'язок між зазначеними компонентами зі збереженням їх початкових характеристик [4].

Переваги та високі механічні характеристики вуглепластику (та інших композиційних матеріалів) найбільш істотно реалізуються в орієнтованих матеріалах, що армовані паралельними волокнами, тобто в так званих односпрямованих шарах, шляхом укладання них у різних напрямках (рис. 1).

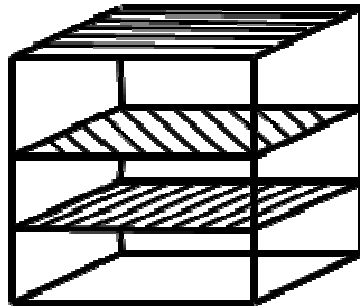


Рис. 1. Багатошаровий вуглепластиковий матеріал із односпрямованих шарів [2]

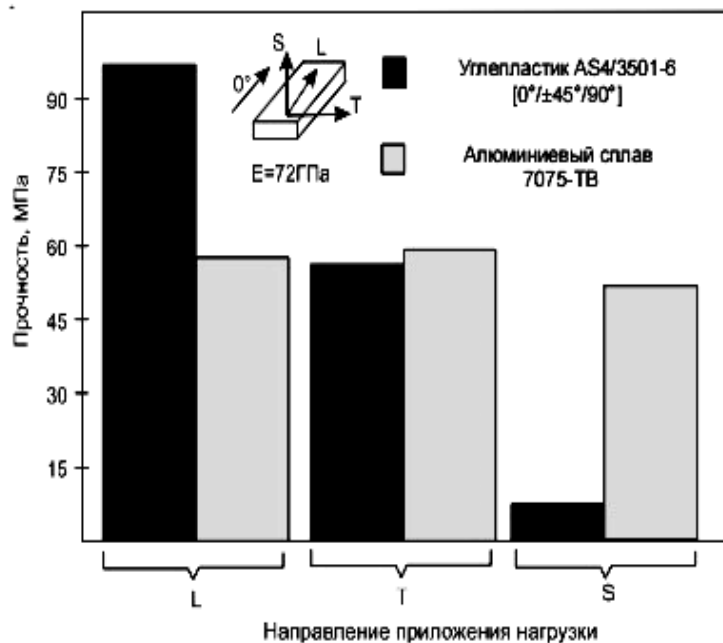


Рис. 2. Залежність міцності вуглепластику від напрямку прикладання сили [5]

Волокна сприймають основну частку навантаження у вуглепластику, гранична міцність та питома жорсткість цих армуючих елементів значно вища за деякі метали. Порівняння властивостей деяких композиційних матеріалів з металами представлено у таблиці 1.

Міцність вуглепластику залежить від багатьох факторів, одним із яких є напрямок прикладеної сили відносно волокон, тому його застосування при тривимірному навантаженні характеризується низькою міцністю при нормальних навантаженнях. Залежність міцності вуглепластику від напрямку прикладання сили представлена на рисунку 2. Вуглепластик краще за металеві сплави витримує поздовжні навантаження, а за поперечними навантаженнями – істотно їм поступається. Саме тому раціонально застосовувати його при роботі на розтяг або стискання вздовж волокон. Найбільш перспективними для отримання роз'ємних з'єднань на сьогодні автори вважають композиційні матеріали, що армовані вуглецевими волокнами – вуглепластики

Порівняння властивостей композиційних матеріалів
з конструкційними матеріалами [3]

Параметр	Склопластик	Вуглепластик	Алюміній 7050-T7451	Сталь РН138М0
Густина · 10 ⁻³ , кг/м ³	2,1	1,5	2,82	7,76
Межа міцності, МПа:				
при розтяганні вздовж волокон	1250	1130	485	1385
при розтяганні перпендикулярно волокнам	35	42	-	-
при стисканні вздовж волокон	600	1130	-	-
при зсуві	68	63	-	-
Питома міцність при розтяганні вздовж волокон · 10 ⁻³ , м.	83	73	172	178
Модуль пружності, ГПа:				
вздовж волокон	45	137	72	205
впоперек волокон	12	7	-	-
Модуль зсуву, Гпа	4,5	4,2	27	80
Питома жорсткість · 10 ⁻⁶ , м	22	88	25,5	26,4

Основні види роз'ємних з'єднань та їх напружено-деформований стан. Деталі, з яких складається машина або агрегат, зв'язані між собою тим чи іншим чином. Ці зв'язки можна поділити на рухомі (до них належать різного роду шарніри, підшипники, зчеплення) та нерухомі (нарізні, зварні, шпонкові).

Наявність рухомих зв'язків у машині обумовлена її кінематичною схемою. Нерухомі зв'язки необхідні для розбирання машини на складові частини та деталі. Це роблять для спрощення виготовлення, складання, транспортування та ремонту машини. Нерухомі зв'язки в машинобудуванні називають *з'єднання* [1].

Під з'єднаннями в машинобудуванні розуміють вузли, що отримані з'єднувальними деталями (заклепками, гвинтами тощо) і прилеглими частинами деталей, що з'єднують (наприклад фланцями), форма яких залежить від призначення з'єднання. В окремих з'єднаннях спеціальні з'єднувальні деталі можуть бути відсутні. З'єднання дозволяють скласти із окремих деталей машину або агрегат.

З'єднання за можливістю розбирання поділяють на нероз'ємні, які не можна розібрати без руйнування або пошкодження складових частин (заклепкові, зварні), та роз'ємні, які можна розібрати без порушення цілісності складових частин деталей або їх елементів. Найбільш розповсюдженими в машинобудуванні видами роз'ємних з'єднань є: нарізні, шпонкові, шліцові, профільні [6].

З'єднання вважаються досить важливими елементами конструкцій. Більшість аварій та інші несправності в роботі машин обумовлені незадовільною конструкцією з'єднань.

Основним критерієм працездатності і розрахунку з'єднання вважається його міцність – статична та тривала.

У зв'язку із необхідністю зберігання точності під навантаженням з'єднання повинні задовольняти умову жорсткості.

Міцність є основним критерієм працездатності нарізних з'єднань. Під дією осьової сили (сили затяжки) в стрижні гвинта виникають напруги розтягу, в тілі гайки – стиснення, в нитках різі – зминання, зрізу.

Головним критерієм працездатності стандартних кріпильних деталей прийнята міцність стрижня на розтяг, і за нею здійснюють розрахунок болтів, гвинтів і шпильок. На рисунку 3 показаний розподіл напружень та деформацій у нарізному з'єднанні [6].

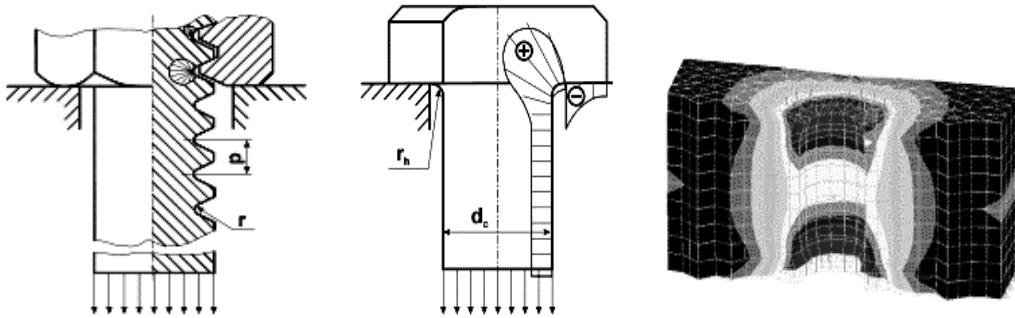


Рис. 3. Розподіл напружень та деформацій в нарізному з'єднанні

Шпонкові з'єднання з призматичними шпонками найбільш застосовувані в машинобудуванні. Момент T з валу на ступицю передається боковими гранями шпонки. На цих бокових гранях виникають напруги зминання $\sigma_{зм}$, а в повздовжньому розрізі шпонки – напруги зрізу $\tau_{зр}$ [4].

Опір бокових поверхонь зубів зношуванню та зминанню – основні критерії працездатності шліцьових з'єднань. Нерухомі шліцьові з'єднання розраховують лише на зминання (за відсутності осьових навантажень). Основні види напружень шпонкового та шліцьового з'єднань представлені на рисунку 4.

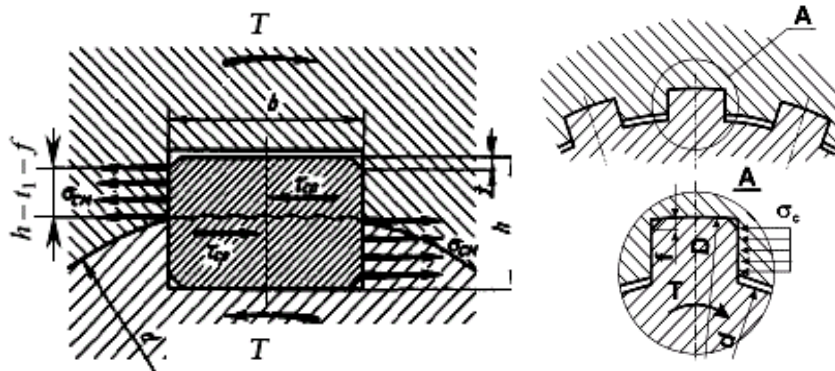


Рис. 4. Силкові схеми шпонкового та шліцьового з'єднань

Висновки. У результаті проведеної порівняльної характеристики різних критеріїв міцності, напружень та деформацій, що виникають в основних роз'ємних з'єднаннях з аналогічними параметрами вуглепластикових виробів, авторами було визначено, що утворення роз'ємних з'єднань із вуглепластику бажане лише у випадку, коли основні напруження в з'єднанні спрямовані в повздовжньому напрямку (вздовж армуючих елементів), оскільки, як було сказано вище, даний матеріал краще за металеві сплави витримує поздовжні навантаження, а за поперечними навантаженнями істотно їм поступається. На нашу думку, це – одна з основних умов, що має виконуватися при створенні роз'ємних з'єднань з цього матеріалу.

Застосувати вуглепластик можливо у роз'ємних з'єднаннях, в яких основні критичні напруження задовольнятимуть умовам міцності та жорсткості даного композиційного матеріалу. Вуглепластик можливо використати для утворення різьбових, шпонкових та шліцьових з'єднань, якщо армуючі елементи композиту в з'єднанні будуть спрямовані у напрямку прикладення основних напружень.

Створити роз'ємні з'єднання із розглянутого вище композиційного матеріалу можливо, оскільки, згідно з отриманою в результаті дослідження інформацією, робимо висновок, що за питомими характеристиками міцності та жорсткості у поздовжніх напрямках цей матеріал не поступається іншим конструкційним матеріалам, а порівняно з деякими – навіть їх перевищує.

Список використаної літератури:

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В.И. Анурьев. – М. : Машиностроение, 2001.
2. Baker A.A. Composite Materials for Aircraft Structures / A.A. Baker. – Eurospan, 2004. – 400 p.

3. *Верещака С.М.* Механіка композиційних матеріалів : навч. посібник / *С.М. Верещака*. – Суми : Сумський держ. ун-т, 2013. – 160 с.
4. *Durao L.M.* Machining of hybrid composites : Ph.D. dissertation : 05.03.01 / *L.M. Durao*. – Porto, 2005. – 242 p.
5. Механическая обработка композиционных материалов при сборке летательных аппаратов (аналитический обзор) : монография / *Д.В. Криворучко, В.А. Залоза, В.А. Колесник* и др. ; под общ. ред. проф. *В.А. Залози*. – Сумы : Университетская книга, 2013. – 272 с.
6. *Устюгов И.И.* Детали машин : учебное пособие / *И.И. Устюгов*. — М. : Высшая школа, 1973. — 472 с.

ДОВГОПОЛОВ Андрій Юрійович – аспірант кафедри «Технологія машинобудування верстати та інструменти» Сумського державного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- системи автоматизованого проектування;
- формоутворення поверхонь різанням;

E-mail: d_a_y_@ukr.net

НЕКРАСОВ Сергій Сергійович кандидат технічних наук, доцент кафедри «Опору матеріалів та машинознавства» Сумського державного університету.

Наукові інтереси:

- обробка поверхонь різанням;
- системи автоматизованого проектування;
- технологія машинобудування;

E-mail: nekrasovss@gmail.com

Стаття надійшла до редакції 19.11.2015.