

РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

УДК 691.32;533.9.072;537.525

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-2(24)-206-217

Геннадій Болотов, Ірина Прибителько, Тимур Ганєєв,
Микола Корзаченко, Світлана Юценко

ЗАСТОСУВАННЯ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ В ТЕХНОЛОГІЯХ ВИГОТОВЛЕННЯ ФІБРОБЕТОНУ (ОГЛЯД)

Розглянуто особливості будови та основні проблеми отримання перспективного виду композиційних будівельних матеріалів – дисперсійно-армованих бетонів (фібробетонів), що складаються з будівельної матриці та армуючих волокон. Проаналізовано результати відомих на даний час досліджень по застосуванню плазми тліючого розряду для обробки поверхонь армуючих волокон з неорганічних та полімерних матеріалів з метою підвищення їх адгезії до матричного матеріалу. Аналіз джерел свідчить, що модифікація поверхонь волокон тліючим розрядом суттєво підвищує міцність зчеплення волокон із будівельним матеріалом і є перспективним технологічним напрямком. Визначено, що обмеженість застосованих способів і режимів плазмової обробки волокон робить доцільним подальше проведення досліджень. Представлена в статті інформація має оглядовий характер.

Ключові слова: фібробетон; будівельна матриця; армуючі волокна; тліючий розряд; модифікація поверхонь; адгезія.
Рис.: 8. Табл.: 3. Бібл.: 28.

Вступ. Тліючий розряд низьких та середніх тисків 0,1...100 кПа використовують для безпосереднього впливу на оброблюваний матеріал [1], для отримання електронних [2] та світлових пучків [3].

У промисловості тліючий розряд при тисках 0,1...1000 Па застосовують для нанесення покриттів катодним розпиленням [4, 5], травлення кремнію при виробництві мікроелектронних приладів [6], хіміко-термічної обробки виробів [7]. У машинобудуванні тліючий розряд при тисках газу 1...10 кПа знайшов поширення в процесах дифузійного зварювання та паяння металів [8; 9].

Актуальність теми дослідження. Новим перспективним напрямком застосування низькотемпературної плазми тліючого розряду є модифікація властивостей матеріалів, зокрема, різноманітних волокон, плівок, рулонних матеріалів [10]. Обробка плазмой дозволяє змінювати поверхневі властивості матеріалів, не змінюючи їх об'ємних характеристик [11; 12]. З'являється можливість отримувати матеріали із принципово новими фізико-хімічними і фізико-механічними характеристиками. Комплексний вплив плазмових технологій на текстильні матеріали [13] забезпечує їм широкі перспективи впровадження у легкій промисловості.

Останнім часом здійснюються спроби застосування плазмових процесів у будівельній галузі [14] як перспективного конструкційного та технологічного напрямку.

Постановка проблеми. Однією з важливих задач сучасного матеріалознавства є створення ефективних матеріалів із підвищеними експлуатаційними властивостями. Перспективним видом таких матеріалів є композити, що являють собою гетерофазні системи, побудовані з двох або більше компонентів (матриці та армуючих елементів) із чіткою межею розділу між ними. Композиційні матеріали володіють комплексом властивостей, що відрізняють їх від традиційних конструкційних матеріалів, і в сукупності відкривають можливості для вдосконалення як конструкцій різного призначення, так і технологічних процесів [15; 16]. Окремий клас композитів представляють дисперсійно-армовані бетони (фібробетони) [17]. Дисперсійне армування здійснюється волокнами (фібрами), рівномірно розподіленими по об'єму будівельної матриці. Для цього застосовують різні види металевих та неметалевих волокон (рис. 1).



Рис. 1. Внутрішня структура фібробетону

Однією з головних умов отримання якісних дисперсійно-армованих бетонів є висока адгезія армуючих волокон до будівельної матриці. Однак, властивості практично усіх волокнистих матеріалів не задовольняють даній вимозі, а їх зчеплення із будівельним композитом здебільшого обумовлюється силами тертя [17]. Це визначає номенклатуру застосованих армуючих волокон і технологію виготовлення, властивості й галузі застосування армованих ними матеріалів.

При армуванні бетону армуючі волокна перемішуються або із сухою будівельною сумішшю до додавання води, або безпосередньо додаються у готову будівельну суміш, змочену водою. Багато дослідників [18; 19] зауважують, що недостатня адгезія волокон до будівельного композиту в цих умовах суттєво впливає на міцнісні характеристики отримуваних виробів.

Методів підвищення адгезії волокнистих армуючих матеріалів до цементної матриці порівняно мало. Найбільш поширені хімічні способи попередньої обробки волокон, серед яких відомий спосіб нанесення на волокно полімерних покриттів на основі епоксидної смоли або епоксидної смоли і цементу [17], введення у склад волокна поверхнево-активних речовин [14].

Останніми роками розроблений і починає промислово застосовуватись спосіб модифікації армуючих волокон у фібробетонах низькотемпературною плазмою тліючого розряду [20]. Показано, що вплив низькотемпературної плазми на волокнисті матеріали є одним з найбільш ефективних способів зміни властивостей їхніх поверхневих шарів.

Метою роботи є аналіз відомих на даний час результатів досліджень щодо особливостей та технологічних можливостей підвищення адгезійних властивостей армуючих волокон до будівельного матеріалу обробкою їх плазмою тліючого розряду.

Виклад основного матеріалу. У більшості відомих робіт розглядається вплив низькотемпературної плазми на полімерні, синтетичні, природні волокна. Показано, що взаємодія плазми неpolімеризуючих газів із полімерним матеріалом являє собою процес травлення, в основі якого лежать хімічні реакції на границі двох фаз – твердої та газоподібної.

Плазмохімічне травлення є багатостадійним процесом, основними етапами якого є [21]:

- а) випаровування поверхневих домішків;
- б) видалення адсорбованих шарів;
- в) фізичне травлення поверхні;
- г) хімічні реакції на поверхні.

Для аналізу впливу плазмової обробки на властивості фібробетона розроблені методи визначення міцності зчеплення модифікованого волокнистого матеріалу із будівельним композитом. У методиках передбачаються нові схеми формування фібробетонів від виду волокнистого матеріалу [22], наведені на рис. 2:

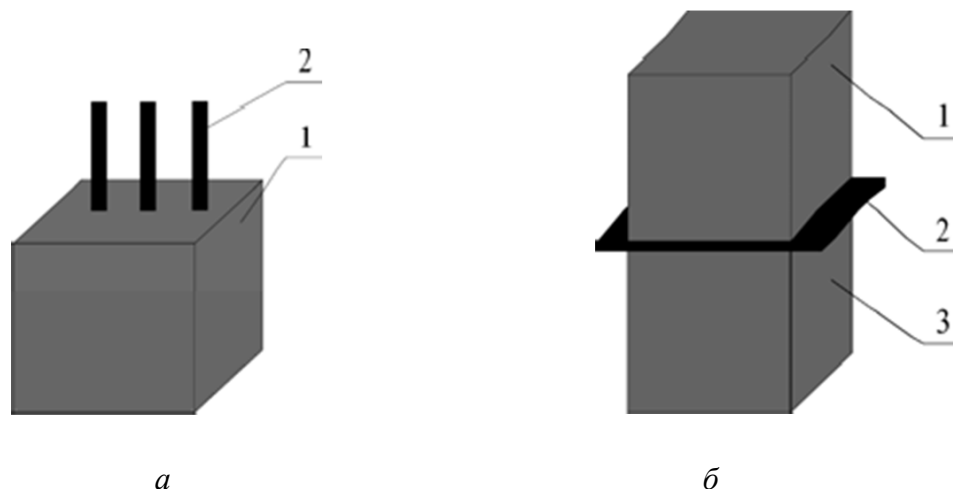


Рис. 2. Схеми формування досліджуваних матриць:

а) 1 – фібробетон; 2 – волокна;

б) 1, 3 – цементний камінь; 2 – тканина з волокнистого матеріалу

Для модифікації матеріалів застосовували тліючий розряд змінного струму при тиску газу у робочій камері 150 Па, силою струму 200 мА, що відповідало густині струму 1,5 мА/см², та часу обробки 15...90 с [22].

У цих умовах оброблюваний матеріал розташовувався між електродами розряду і його модифікація здійснювалась бомбардуванням поверхні електронами плазми позитивного стовпа розряду, що мають теплову швидкість.

Визначено, що одним із важливих аспектів плазмового травлення є структурна зміна поверхневого шару волокон. Більшість авторів, які розглядали це питання, зазначають зміну рельєфу поверхні, що складається у утворенні на ній різних за розташуванням та розміром пор, сколів, кратерів. Активація полімерних волокон може бути зумовлена окисленням їхньої поверхні, утворенням вільних радикалів під дією активних частинок плазми тліючого розряду [23].

На зміну властивостей волокнистих матеріалів оказують вплив і параметри обробки низькотемпературною плазмою: природа плазмоутворюючого газу, час та інтенсивність обробки [24].

Адгезійні характеристики волокон щодо будівельного композиту значною мірою визначаються їхніми гідрофільними властивостями, до яких відносять водопоглинання волокон та змочуваність їх поверхні.

У роботі [22] досліджено вплив на водопоглинання армуючих волокон фібробетонів часу обробки низькотемпературною плазмою тліючого розряду. Дослідженню піддавались як хімічні (полімерні), так і натуральні волокна.

Залежність водопоглинання хімічних волокон від часу обробки тліючим розрядом наведена у табл. 1 та на рис. 3 [22].

Таблиця 1 – Зміна водопоглинання модифікованих полімерних волокон залежно від часу обробки тліючим розрядом [22]

Час обробки тліючим розрядом, с	Водопоглинання, %				
	Скловолокно	Азбест	Поліефір	Поліамід	Триацетат
0	16	12	58	52	91
15	25	12	61	59	119
30	30	12	63	67	92
45	33	12	64	74	90
60	24	12	70	68	74
75	21	12	78	64	51
90	19	12	72	61	44

Аналіз результатів, наведених у табл. 1, свідчить, що обробка тліючим розрядом здійснює певний вплив на характеристики водопоглинання волокон, однак цей вплив суттєво залежить від фізико-хімічних властивостей матеріалу волокон.

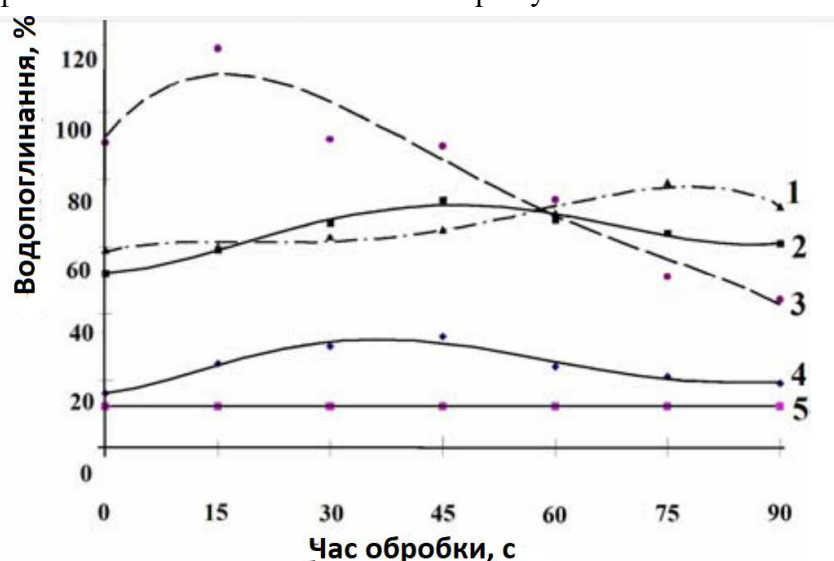


Рис. 3. Зміна водопоглинання модифікованих волокон залежно від часу обробки тліючим розрядом [22]:

1 – поліефірне волокно; 2 – поліамідне волокно;

3 – триацетатне волокно; 4 – скловолокно; 5 – азбестове волокно

Графіки, наведені на рис. 3, показують, що вплив часу обробки волокон тліючим розрядом на характеристики їх водопоглинання також суттєво залежить від властивостей і структури волокон, причому ця залежність носить екстремальний характер. При тривалості обробки розрядом до 45...60 с водопоглинання більшості матеріалів зростає (особливо це помітно для скляних волокон). Подальше збільшення часу обробки призводить до погіршення водопоглинання. Це пояснюють зміною кристалічної структури поверхні матеріалів, а також «оплавленням» волокон при обробці їх більше ніж 45...60 с [19].

Модифікація тліючим розрядом натуральних волокон (хлопок, льон, суміш волокон різного складу) також супроводжується появою екстремуму на кривій водопоглинання, причому ефективність обробки в цьому випадку досягає 250...300 % (рис. 4).

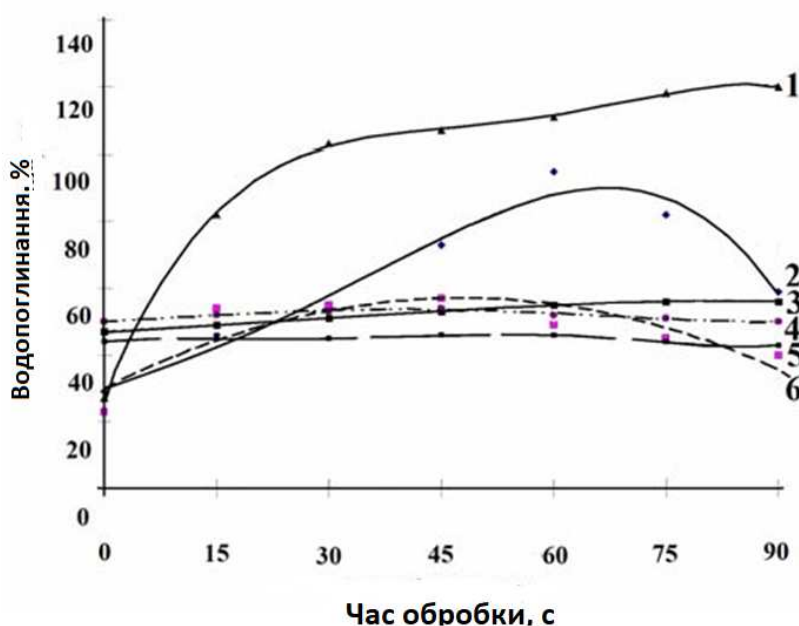


Рис. 4. Зміна водопоглинання модифікованих натуральних волокон залежно від часу обробки тліючим розрядом [22]:

1 – хлопок відбіл.; 2 – хлопок; 3 – змішані (поліефір 76 %, хлопок 24 %); 4 – змішані (поліефір 47 %, хлопок 53 %); 5 – змішані (поліефір 77 %, хлопок 23 %); 6 – льон

Збільшення водопоглинання у випадку натуральних волокон пояснюють зміною рельєфа поверхні волокон у вигляді травлення та накопичення поверхневих зарядів [25].

Іншою важливою характеристикою волокон, що забезпечує як їх гідрофільні властивості, так і адгезію, є змочуваність, тобто показник взаємодії волокон із навколишньою рідкою фазою. Звичайно змочуваність визначають величиною крайового кута нанесеної на поверхню краплі води.

В роботах [26, 27] визначена залежність цього показника від режимів обробки для різних видів волокон. Зокрема, в залежності від часу обробки тліючим розрядом натуральних волокон (хлопок, льон) він збільшується з 0,344 до 0,512, для триацетатного волокна збільшується від 0,2 до 0,95, для поліефірного волокна – від 0,1 до 0,7.

Графіки, наведені на рис. 5, свідчать про суттєвий вплив обробки волокон плазмою тліючого розряду на характеристики їх змочуваності. Практично для всіх досліджуваних матеріалів (крім скловолкна) змочуваність досягає задовільних значень при часі обробки розрядом до 15 с. У роботах [18; 26] визначено, що зростання змочуваності складається у зміні мікрорельєфу поверхні волокон в результаті їх травлення, що сприяє утворенню на поверхні мікропор, мікротріщин. Крім того, у процесі обробки тліючим розрядом діелектричних матеріалів, якими є більшість волокон, на їх поверхні утворюється поверхневий заряд. Наявність потенціалу у поверхневій плазмі і створеного ним електричного поля також може впливати на міжфазні параметри згідно з законом Юнга [28].

Підвищення гідрофільних властивостей волокон у процесі обробки тліючим розрядом сприяє, також підвищенню їхніх адгезійних характеристик. У роботі [22] досліджена залежність міцності зчеплення волокон та тканин до будівельного композиту від параметрів режиму їх обробки тліючим розрядом.

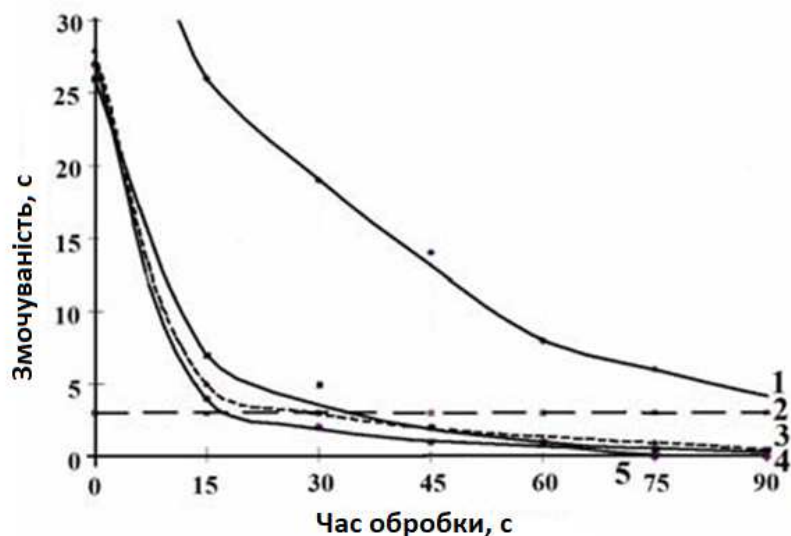


Рис. 5. Зміна змочуваності модифікованих волокон залежно від часу обробки тліючим розрядом [22]:
1 – скловолокно; 2 – азбестове волокно; 3 – поліефірне волокно;
4 – поліамідне волокно; 5 – триацетатне волокно

Дослідження зразків на міцність зчеплення волокнистих матеріалів із будівельним каменем проводили на розривній машині РТ-250. Приклади кріплення зразків показані на рис. 6 [22].

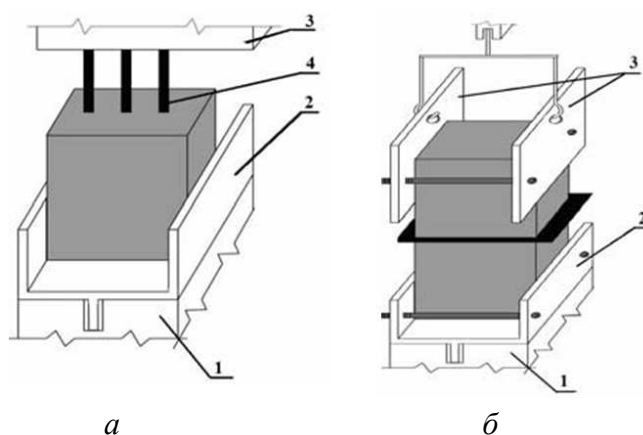


Рис. 6. Кріплення зразків при випробуваннях з волокнистими матеріалами:
а – кріплення волокон; б – кріплення тканин з волокнистих матеріалів;
1, 2, 3 – кріплення розривної машини; 4 – волокна, заформовані в будівельний матеріал

Визначали зусилля, прикладене для розриву 2-х частин зразка по поверхні ткани з волокнистого матеріалу, або для висмикування волокон із будівельної матриці.

Дослідження адгезії проводили для волокон і тканин із тих самих матеріалів, що і описані вище дослідження гідрофільних властивостей. Як будівельну матрицю застосовували портландцемент М500 та будівельний гіпс марки Г6.

Результати плазмохімічної модифікації поверхні волокон свідчать про підвищення їх активаційних властивостей, що позитивно впливає на міцність їх зчеплення із бетонним каменем.

Результати випробувань міцності зчеплення модифікованих волокон із цементним каменем залежно від часу обробки тліючим розрядом, наведені в табл. 2 та на рис. 7 [22].

Таблиця 2 – Міцність зчеплення модифікованих волокон із цементним каменем [22]

Вид волокна	Міцність зчеплення, МПа						
	Час обробки, с						
	0	15	30	45	60	75	90
Скляні	0,024	0,028	0,037	0,053	0,044	0,041	0,034
Азбестові	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085
Поліефірні	0,145	0,158	0,175	0,188	0,176	0,163	0,154
Поліамідні	0,158	0,167	0,186	0,195	0,187	0,174	0,164
Триацетатні	0,198	0,226	0,214	0,184	0,162	0,146	0,112
Хлопкові	0,051	0,067	0,083	0,09	0,087	0,076	0,065
Льняні	0,052	0,065	0,08	0,095	0,093	0,075	0,054

При застосуванні у ролі матричного матеріалу як портландцементу, так і будівельного гіпсу залежності адгезії мають однаковий характер.

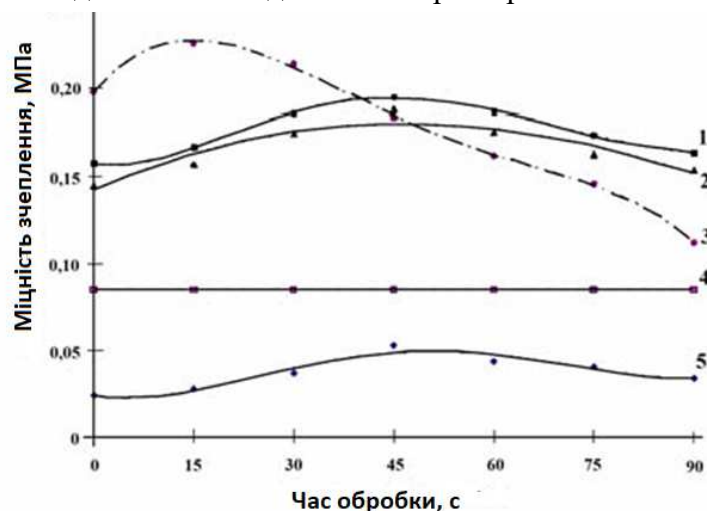


Рис. 7. Зміна міцності зчеплення неорганічних та полімерних волокон з цементним каменем залежно від часу обробки тліючим розрядом [22]:
1 – поліамідне волокно; 2 – поліефірне волокно; 3 – триацетатне волокно;
4 – азбестове волокно; 5 – скловолокно

Наведені дані свідчать, що обробка тліючим розрядом поверхневих шарів практично усіх видів волокон підвищує міцність їх зчеплення із цементною матрицею. Найбільш помітний вплив поверхневої модифікації спостерігається для скляних та натуральних волокон – відповідно, до 100 та 80 %. Водночас для полімерних волокон міцність зчеплення з цементним каменем зростає лише на 30 %, а для азбестових – залишилась на попередньому рівні.

Як і гідрофільні властивості, залежність адгезії волокон від часу обробки тліючим розрядом також має екстремальний характер. Найвищі показники міцності зчеплення волокон як з цементним, так гіпсовим каменем спостерігаються при часі обробки 30...45 с. Із збільшенням часу обробки адгезійні характеристики знижуються.

Водночас, як визначено у роботі [22], метод визначення адгезії волокон шляхом їх висмикування з будівельної матриці не дозволяє в достатній мірі оцінити ефективність обробки тліючим розрядом внаслідок руйнування волокон до їх висмикування. Тому для більш ретельного дослідження впливу модифікації поверхні волокон тліючим розрядом на їх адгезійні властивості до будівельного матеріалу як модельного матеріалу запропоновано застосовувати ткани з полімерних та натуральних волокон. Схема розташування тканих матеріалів при дослідженні адгезії показана на рис. 6. Обробка ткани проводиться тліючим розрядом змінного струму на наведених вище режимах.

Отримані результати досліджень залежності міцності зчеплення модифікованих тліючим розрядом тканин до цементного каменю наведені у табл. 3 та на рис. 8 [22].

Таблиця 3 – Міцність зчеплення тканин, модифікованих тліючим розрядом [22]

Вид ткани	Міцність зчеплення, МПа						
	Час обробки, с						
	0	15	30	45	60	75	90
Скляні	0	0,091	0,112	0,122	0,114	0,107	0,083
Азбестові	0,173	0,173	0,173	0,173	0,173	0,173	0,173
Поліефірні	0,178	0,195	0,214	0,225	0,198	0,182	0,17
Поліамідні	0,21	0,229	0,242	0,248	0,237	0,32	0,237
Триацетатні	0,337	0,345	0,334	0,32	0,277	0,235	0,196
Бавовняні	0,275	0,293	0,31	0,327	0,290	0,265	0,235
Льняні	0,317	0,335	0,38	0,42	0,363	0,33	0,3

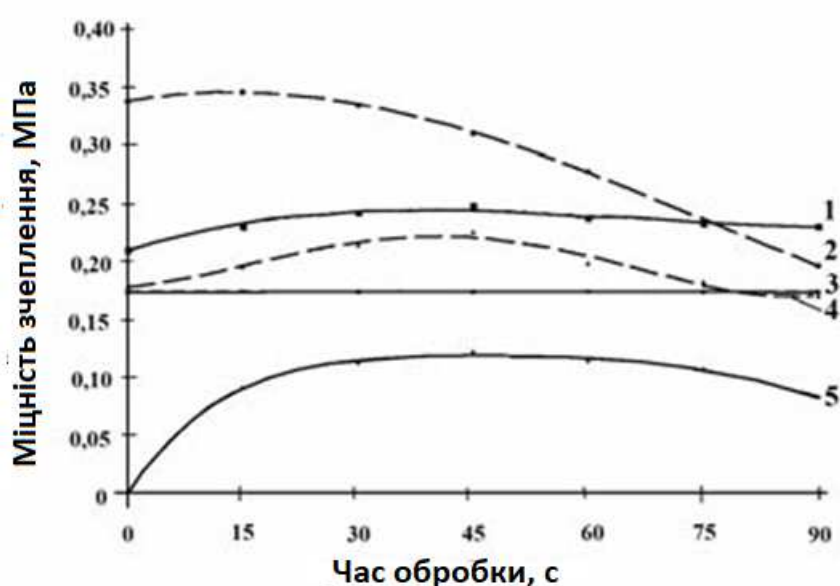


Рис. 8. Зміна міцності зчеплення тканин з неорганічних та полімерних волокон з цементним каменем залежно від часу обробки тліючим розрядом [22]:

1 – поліамідне волокно; 2 – триацетатне волокно; 3 – азбестове волокно;

4 – поліефірне волокно; 5 – скловолокно

Аналіз наведених результатів свідчить, що і в цих умовах спостерігається підвищення міцності зчеплення модифікованих тліючим розрядом тканин до будівельної матриці, причому залежність міцності від часу обробки розрядом має такий самий екстремальний характер, як і при обробці волокон. Водночас відносні показники міцності у даному випадку нижче, ніж аналогічні показники для модифікованих волокон. Так, максимальне зростання міцності зчеплення тканин до цементного каменю не перевищило 23...25 % (для скляних, поліефірних та поліамідних тканин). Менш ефективною є обробка тліючим розрядом тканин з натуральних волокон (бавовна, льон), де підвищення міцності зчеплення складо менше 20 %. Аналогічні, але дещо вищі показники отримані при дослідженні адгезійних властивостей тканин до матриці з будівельного гіпсу [22]. У всіх випадках максимальне значення адгезії досягається при часі обробки тліючим розрядом 30...45 с.

Висновки. Аналіз літературних джерел свідчить, що застосування плазми тліючого розряду для обробки фіброволокон дозволяє підвищити їх адгезійні властивості, що, у свою чергу, призводить до покращення фізико-механічних властивостей фібробетону.

Наявні дослідження активації поверхонь матеріалів фіброволокон здійснені їх бомбардуванням електронами плазми тліючого розряду змінного струму, які внаслідок незначної маси здатні здійснювати обмежений вплив на поверхню. Доцільно проведення аналогічних досліджень із модифікацією поверхонь фіброволокон іонами газу в розряді постійного струму.

Список використаних джерел

1. Ивановский Г. Ф., Петров В. И. Ионно-плазменная обработка материалов. Москва : Радио и связь, 1986. 322 с.
2. Назаренко О. К. Электроннолучевая сварка. Москва : Машиностроение, 1981. 146 с.
3. Абильтитов Г. А., Велихов Е. П., Голубев В. С. Мощные газоразрядные CO₂ лазеры и их применение в технике. Москва : Наука, 1984. 105 с.
4. Данилин Б. С., Киреев В. Ю. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. Москва : Энергоатомиздат, 1989. 328 с.
5. Bolotov M. "The Deposition of Thin Metal Films in Low Temperature Plasma of Hollow Cathode Glow Discharge" (2020). *IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. 2020. Pp. 90-94. DOI: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088874.
6. Данилин Б. С., Киреев В. Ю. Ионное травление микроструктур. Москва : Советское радио, 1979. 218 с.
7. Бабад-Захряпин А. А., Кузнецов Г. Д. Химико-термическая обработка в тлеющем разряде. Москва : Атомиздат, 1975. 176 с.
8. Котельников Д. И. Сварка давлением в тлеющем разряде. Москва : Металлургия, 1981. 116 с.
9. Болотов Г. П. Тлеющий разряд как источник нагрева в процессах сварки и пайки (обзор). *Автоматическая сварка*. 2001. № 8. С. 41-44.
10. Крапивина С. А. Плазмохимические технологические процессы. Ленинград : Химия, 1981. 247 с.
11. Bolotov M. G., Prybytko I. O. Application of glow discharge plasma for cleaning (activation) and modification of metal surfaces while welding, brazing and coatings deposition. *Progress Phys. Metals*. 2021. № 1. Pp. 103-129. URL: <https://dji.org/10.15407/umf.2201.103>.
12. Болотов Г. П., Рыжов Р. Н., Болотов М. Г. Очистка тлеющим разрядом металлических поверхностей перед диффузионной сваркой и пайкой в вакууме. *Вестник НТУУ «КПИ»*. Сер. «Машиностроение». 2009. № 57. С. 124-127.
13. Горберг Б. Л. Современное состояние и перспективы использования плазмохимической технологии для обработки текстильных материалов. *Текстильная химия*. 2001. № 3. С. 59-68.
14. Лобанов И. А. Основы технологи дисперсно-армированных бетонов. Ленинград : ЛДНТП, 1982. 24 с.
15. Болотов Г. П., Болотов М. Г. Особливості з'єднання композиційних матеріалів у вузлах машин та будівельних конструкцій. *Технічні науки та технології*. 2017. № 4 (10). С. 77-86.
16. Болотов Г. П., Болотов М. Г. Прецизійне зварювання тиском волокнистих композиційних матеріалів на металевій основі. *Технічні науки та технології*. 2018. № 1 (11). С. 58-67.
17. Рабинович Ф. Н. Дисперсно-армированные бетоны. Москва : Стройиздат, 1989. 174 с.
18. Гриневич В. И., Максимова А. И. Травление полимеров в низкотемпературной плазме. *Применение низкотемпературной плазмы в химии*. Москва : Химия и химическая технология, 1981. С. 135-168.
19. Киреев В. Ю., Данилин Б. С. Травление материалов химически активными частицами, образующимися в плазме газовых разрядов. *Химические реакции в неравновесной плазме* / под ред. Л. С. Полака. Москва : Наука, 1983. С. 115-136.
20. Горберг Б. Л., Максимов А. И., Мельников Б. Н. Применение низкотемпературной плазмы для обработки полимерных материалов, используемых в легкой промышленности. *Известия вузов. Серия «Химия и химическая технология»*. 1983. Т. XXVI. С. 1362-1376.
21. Ройх И. Л., Колтунова Л. Н. Защитные вакуумные покрытия на стали. Москва : Машиностроение, 1971. 279 с.

22. Акулова М. В., Мельников Б. Н., Федосов С. В., Шарнина Л. В. Применение тлеющего разряда в текстильной и строительной промышленности. Иваново : Ивановский гос. хим.-техн. ун-т, 2008. 232 с.

23. Шарнина Л. В., Блиничева И. Б., Менагаришвили С. Д. Кинетика деструкции пленочных и волокнистых материалов в тлеющем разряде. *Известия вузов. Серия «Химия и химическая технология»*. 1990. Т. 33. Вып. 5. С. 107-109.

24. Акулова М. В. Влияние тлеющего разряда на структуру полиэфирных нитей. *Известия вузов. Серия «Химия и химическая технология»*. 1981. № 9. С. 1143-1146.

25. Владимирцева Е. Л., Шарнина Л. В., Блиничева И. Б. Использование низкотемпературной плазмы в процессах подготовки льняных тканей. *Текстильная химия*. 1994. № 2(4). С. 78-81.

26. Wrobel A., Kryszewski M., Rakowski W. Effect of plasma treatment on structure and properties of polymer fabric. *Polymer*. 1978. Vol. 19, № 8. Pp. 908-912.

27. Wakida T., Tanaka I., Takagishi T. Free Radicals in Cellulose Fibers treated with Low Temperature Plasma. *Text. Res. J.* 1989. Vol. 59., № 1. Pp. 49-53.

28. Быховский А. И. Растекание. Киев : Наукова думка, 1983. 192 с.

References

1. Ivanovskiy, G.F., Petrov, V.I. (1986). *Ionno-plazmennaya obrabotka materialov [Ion-plasma processing of materials]*. Radio i svyaz.

2. Nazarenko, O.K. (1981). *Elektronnoluchevaya svarka [Electron beam welding]*. Mashinostroenie.

3. Abilsiitov G.A., Velikhov Ye.P., Golubev V.S. (1984). *Moshchnye gazorazriadnye CO₂ lazery i ikh primeneniye v tekhnike [High-power gas-discharge CO₂ lasers and their application in technology]*. Nauka.

4. Danilin, B.S., Kireyev, V.Yu. (1989). *Primeneniye nizkotemperaturnoi plazmy dlia naneseniia tonkikh plenok [Application of low-temperature plasma for the deposition of thin films]*. Energoatomizdat.

5. Bolotov, M. (2020). The Deposition of Thin Metal Films in Low Temperature Plasma of Hollow Cathode Glow Discharge IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO) (pp. 90-94). DOI: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088874.

6. Danilin, B.S., Kireyev, V.Yu. (1979). *Ionnoye travleniye mikrostruktur [Ionic etching of microstructures]*. Sovetskoye radio.

7. Babad-Zakhryapin, A.A., Kuznetsov, G.D. (1975). *Khimiko-termicheskaya obrabotka v tleyushchem razryade [Glow discharge heat treatment]*. Atomizdat.

8. Kotelnikov, D.I. (1981). *Svarka davleniem v tleyushchem razriade [Glow discharge welding]*. Metallurgiya.

9. Bolotov, G.P. (2001). Tleyushchiy razryad kak istochnik nagreva v protsesakh svarki i payki (obzor) [Glow discharge as a source of heating in welding and brazing processes (review)]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, (8), 41-44.

10. Krapivina, S.A. (1981). *Plazmokhimicheskiye tekhnologicheskkiye protsessy [Plasma-chemical technological processes]*. Khimiia.

11. Bolotov, M.G., Prybytko, I.O. (2021). Application of glow discharge plasma for cleaning (activation) and modification of metal surfaces while welding, brazing and coatings deposition. *Progress Phys. Metals.*, (1), 103-129. <https://dji.org/10.15407/umf.2201.103>.

12. Bolotov, G.P., Ryzhov, R.N., Bolotov, M.G. (2009). Ochistka tleyushchim razryadom metallicheskikh poverkhnostei pered diffuzionnoi svarkoi i paikoi v vakuume [Glow discharge cleaning of metal surfaces prior to diffusion welding and vacuum brazing]. *Vestnik NTUU «KPI», ser. «Mashinostroyeniye» – Bulletin of NTUU "KPI", series of mechanical engineering*, (57), 124-127.

13. Gorberg, B.L. (2001). Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy ispol'zovaniya plazmokhimicheskoy tekhnologii dlia obrabotki tekstilnykh materialov Current state and prospects of using plasma-chemical technology for processing textile materials]. *Tekstilnaya khimiia –Textile chemistry*, (3), 59-68.

14. Lobanov, I.A. (1982). *Osnovy tekhnologi dispersno-armirovannykh betonov [Fundamentals of Dispersed-Reinforced Concrete Technology]*. LDNTP.

15. Bolotov, H.P., Bolotov, M.H. (2017). Osoblyvosti ziednannia kompozytsiinykh materialiv u vuzlakh mashyn ta budivelnykh konstrukttsii [Features of joining composite materials in units of machines and building structures]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Engineering Science and Technology*, (4(10)), 77-86.

16. Bolotov, H.P., Bolotov, M.H. (2018). Pretsyziine zvaryuvannia tyskom voloknystykh kompozytsiinykh materialiv na metalevii osnovi [Precision pressure welding of fibrous composite materials on a metal basis]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Engineering Science and Technology*, (1(11)), 58-67.

17. Rabinovich, F.N. (1989). *Dispersno-armirovannyye betony [Dispersed reinforced concrete]*. Stroiizdat.

18. Grinevich, V.I., Maksimova, A.I. (1981). Travlenie polimerov v nizkoterperaturnoy plazme [Etching of polymers in low-temperature plasma]. In *Primenenie nizkoterperaturnoplazmy v khimii – Application of low-temperature plasma in chemistry* (pp. 135-168).

19. Kireyev, V.Yu., Danilin, B.S. (1983). Travlenie materialov khimicheskimi aktivnymi chastitsami, obrazuushchimisya v plazme gazovykh razriadov [Etching of materials by chemically active particles formed in the plasma of gas discharges]. In L.S. Polak (Ed.) *Khimicheskie reaktsii v neravnovesnoy plazme – Chemical reactions in non-equilibrium plasma* (pp. 115-126).

20. Gorberg, B.L., Maksimov, A.I., Melnikov, B.N. (1983). Primeneniye nizkoterperaturnoy plazmy dlia obrabotki polimernykh materialov, ispolzuiemykh v legkoy promyshlennosti [Application of low-temperature plasma for processing polymer materials used in light industry]. *Izvestiia vuzov. Seriya. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya – Proceedings of universities. Chemistry and chemical technology*, XXVI, 1362-1376.

21. Roykh, I.L., Koltunova, L.N. (1971). *Zashchitnye vakuurnyye pokrytiia na stali [Protective vacuum coatings on steels]*. Mashinostroenie.

22. Akulova, M.V., Melnikov, B.N., Fedosov, S.V., Sharnina, L.V. (2008). Primenenie tleiushchego razriada v tekstilnoi i stroitelnoi promyshlennosti [Glow discharge applications in the textile and construction industries]. *Ivanovskiy gos. khim.-tekhn. un-t*.

23. Sharnina, L.V., Blinicheva, I.B., Menagarishvili, S.D. (1990). Kinetika destrukttsii plenochnykh i voloknistykh materialov v tleyushchem razryade [Kinetics of destruction of film and fibrous materials in a glow discharge]. *Izvestiia vuzov. Seriya «Khimii i khimicheskaya tekhnologiya» – Proceedings of universities. Series "Chemistry and Chemical Technology"*, 33(5), 107-109.

24. Akulova, M.V. (1981). Vliianie tleiushchego razriada na strukturu poliefirnykh nitei [Influence of a glow discharge on the structure of polyester filaments]. *Izvestiia vuzov. Seriya «Khimii i khimicheskaya tekhnologiya» – Proceedings of universities. Series "Chemistry and Chemical Technology"*, (9), 1143-1146.

25. Vladimirtseva, Ye.L., Sharnina, L.V., Blinicheva, I.B. (1994). Ispolzovanie nizkoterperaturnoi plazmy v protsesakh pidgotovki lnianykh tkanei [The use of low-temperature plasma in the preparation of linen fabrics]. *Tekstilnaia khimiya – Textile chemistry*, (2(4)), 78-81.

26. Wrobel, A., Kryszewski, M., Rakowski, W. (1978). Effect of plasma treatment on structure and properties of polymer fabric. *Polymer*, 19(8), 908-912.

27. Wakida, T., Tanaka, I., Takagishi, T. (1989). Free Radicals in Cellulose Fibers treated with Low Temperature Plasma. *Text. Res. J.*, 59(1), 49-53.

28. Bykhovskiy, A.I. (1983). *Rastekanie [Spreading]*. Naukova dumka.

UDC 691.32;533.9.072;537.525

Gennady Bolotov, Irina Pribytko, Tymur Ganieiev,
Mykola Korzachenko, Svitlana Yushchenko

APPLICATION OF GLOW DISCHARGE IN FIBER CONCRETE MANUFACTURING TECHNOLOGIES (REVIEW)

Due to its high energy and technological properties, the glow discharge of low and medium pressures is widely used in various industries as a heat source and as a tool for materials processing.

A new promising area of application of glow discharge plasma is the modification of material surfaces with the provision of specific properties. This area is currently being actively studied in order to apply the glow discharge to improve the performance of a number of building materials.

Promising building material is dispersion-reinforced concrete (fibroconcrete), consisting of a building matrix and reinforced fibers distributed in it. Achieving the required performance characteristics of fiberglass can be achieved only when all its components work together, which requires high adhesion of the fibers to the matrix.

The aim of the article is to analyze the results of currently known studies of modification of fibroetone fibers by a glow discharge in order to increase their adhesive properties and determine the direction of further research.

Presentation of the main material. The methods and results of researches of influence of processing by a glowing discharge on surface properties of reinforcing fibers which provide their adhesion to a building material and increase of durability of coupling between them are considered and analyzed.

The analysis testifies to the efficiency and prospects of using a glow discharge to influence the adhesion characteristics of reinforcing fibers of fibroconcrete. However, the significant limitation of the applied treatment regimes makes it expedient to conduct further research.

Keywords: fiber concrete; building matrix; reinforcing fibers; glow discharge; surface modification; adhesion.

Fig.: 8. **Table:** 3. **References:** 28.

Болотов Геннадій Павлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технологій зварювання та будівництва, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Bolotov Hennadiy - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Welding and Construction Technologies, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., Chernihiv, 14035, Ukraine).

E-mail: bolotovgp@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0305-2917>

ResearcherID: H-5304-2014

Scopus Author ID: 6506157907

Прибитько Ірина Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва. Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Prybytko Iryna – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Welding and Construction Technologies, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., Chernihiv, 14035, Ukraine).

E-mail: prybytko_ira@ukr.net

ResearcherID: F-7325-2014

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8550-8318>

Ганєєв Тимур Рашитович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва. Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Hanieiev Tymur – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Welding and Construction Technologies, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., Chernihiv, 14035, Ukraine).

E-mail: gatavltim@ukr.net

ResearcherID: G-5191-2014

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6037-5494>

Корзаченко Микола Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва. Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Korzachenko Mykola – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Welding and Construction Technologies, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., Chernihiv, 14035, Ukraine).

E-mail: korzachenko_87@meta.ua

Researcher ID: F-5177-2016

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5674-8662>

Ющенко Світлана Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, Чернігів, 14035, Україна).

Yushchenko Svitlana – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Welding Technologies and Construction, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenko Str., Chernihiv, 14035, Ukraine).

E-mail: rasssveta@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0863-9020>

ResearcherID: F-7741-2014

Scopus Author ID: 57190373626