

Література

1. Герасимчук П.В., Божидарнік В.В., Опанасович В.К. Односторонній згин пластини з тріщиною по дузі кола з урахуванням контакту її берегів // Наукові нотатки Луцького технічного університету. – 2003. – С. 57-63.
2. Божидарнік В.В., Опанасович В.К., Герасимчук П.В. Двосторонній згин ізотропної пластини з наскрізною тріщиною по дузі кола з урахуванням контакту її берегів // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій. Під гол. ред. В. В. Панасюка. – Львів, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України. – 2004. – С. 213-218.
3. Божидарнік В.В., Опанасович В. К., Герасимчук П.В. Двосторонній згин пластини з несиметричною наскрізною тріщиною по дузі кола з урахуванням контакту її берегів // Проблеми прочності. – 2006, № 5 (383). – С. 135-141.
4. Божидарнік В.В., Опанасович В. К., Герасимчук П.В. Згин пластини з двома рівними симетричними тріщинами по дузі кола з урахуванням контакту їх берегів // Механічна втома матеріалів. Праці 13-го міжнародного колоквиуму (МВМ-2006), 25-28 вересня 2006 р. Тернопіль (Україна): Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, 2006. – С. 450-455. – 536 с.
5. Прусов И. А. Некоторые задачи термоупругости. – Минск, Изд-во Белорус. ун-та. – 1972. – 200 с.
6. Прусов И. А. Метод сопряжения в теории плит. – Минск, Изд-во Белорус. ун-та. – 1975. – 256 с.
7. Саврук М.П. Двумерные задачи упругости для тел с трещинами. – Киев: Наук. думка, 1981. – 324 с.

Одержано 05.05.2007 р.

УДК 667.64:678.026

А.Трапезон¹, докт.техн.наук; А.Букетов², канд.техн.наук

¹Інститут проблем міцності ім.Г.С.Писаренка НАНУ, м.Київ

²Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ВПЛИВ ОБРОБКИ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИЦІЙ ЗОВНІШНІМИ ПОЛЯМИ НА ЦИКЛІЧНУ МІЦНІСТЬ СИСТЕМИ “ОСНОВА (СТАЛЬ СТ.3) – ЗАХИСНЕ ПОКРИТТЯ”

Встановлено кореляцію між циклічною міцністю і адгезійними властивостями захисних покриттів залежно від технологічного процесу формування покриттів (варіантів ультрафіолетового опромінення та магнітної обробки композицій). Встановлено, що попереднє комплексне поетапне ультрафіолетове опромінення епоксидної смоли з наступною магнітною обробкою композиції забезпечує значне підвищення межі витривалості системи “основа - модифіковане покриття”.

A.Trapezon, A.Buketov

CYCLIC DURABILITY OF STEEL WITH THE MODIFIED EXTERNAL FIELDS BY EPOXY COMPOSITE COVERAGES IN THE CONDITIONS OF LOADINGS OF HIGH-FREQUENCY

The physical-mechanical properties of polymer-composite materials depend on quantitative composition as well as magnetic and chemical nature of fillers. As a result of investigations, it was discovered that adding dispersed particles of inorganic nature and ultra-violet modification to polymer composition allows to regulate structure and properties of compositional materials. Features of polymer-composites ingredients magnetic properties influence on protective coating adhesive resistance.

Умовні позначення

ЗП – захисні покриття;

МО – магнітна обробка;

УФО – ультрафіолетове опромінення;

 σ_1 – циклічна міцність системи “основа – захисне покриття”, МПа; N – кількість циклів навантажень.

Вступ. При розробці і прогнозуванні характеристик технологічного устаткування необхідний правильний підбір конструкційних матеріалів та їхніх покриттів, які здатні працювати в умовах градієнтних температур, циклічної деформації, дії агресивних середовищ без зниження при цьому несучих властивостей конструктивних елементів. Структурний аналіз руйнування матеріалу при експлуатації в таких умовах свідчить, що експлуатаційні характеристики, в тому числі і циклічна міцність системи “покриття - основа”, залежить від багатьох факторів. Це, зокрема, - адгезійна міцність, корозійна тривкість, стійкість до спрацювання, термічний коефіцієнт лінійного розширення. У зв'язку з цим, перспективним є використання у вигляді матриць для захисних покриттів епоксидно-діанових смол, які, крім вказаних властивостей, мають широку сировинну базу в межах України і за кордоном.

Зазначимо, що не достатньо висока стійкість епоксидних композитних покриттів (КП) до вібрацій та низький опір повзучості стримує широке застосування таких матеріалів у різних галузях промисловості. Вирішення цієї проблеми пов'язане з використанням нових технологій їх формування [1,2]. Цікавим є застосування процесів попередньої обробки композицій чи окремих компонентів матеріалу покриття зовнішніми полями. Зокрема, обробка компонентів матриці ультрафіолетовим опроміненням і магнітним полем забезпечує суттєве підвищення експлуатаційних характеристик КП [2,3]. Однак випробуванню цих покриттів в умовах високочастотного навантаження приділено недостатньо уваги. У зв'язку з цим проблема отримання інформації про циклічну міцність матеріалів з покриттями залишається актуальною.

Метою статті є визначення впливу попередньої комплексної обробки гетерогенних епоксидних композицій зовнішніми полями (ультрафіолетовим та магнітним) на циклічну міцність системи “основа (сталь Ст.3) – захисне покриття”.

Матеріали та методика досліджень. Як матрицю для олігомерних композицій використовували епоксидно-діановий олігомер марки ЕД-20, який затверджували поліетиленполіаміном (ПЕПА). Як основний наповнювач використовували дисперсні порошки оксиду міді зернистістю 63 мкм. Як додатковий наповнювач використовували порошок фериту з дисперсністю 10-20 мкм.

Після гідродинамічного суміщення компонентів проводили магнітну обробку (МО) та ультрафіолетове опромінення (УФО) олігомерних композицій за режимами, описаними у роботі [4]. При цьому МО композицій проводили протягом 5-7 хв. у постійному магнітному полі до введення твердника. Напруженість магнітного поля, яку регулювали підсилювачем потужності, становила при дослідженнях 500-530 А/м.

Ультрафіолетове опромінення композицій проводили на розробленому ультрафіолетовому випромінювачі з використанням бактерицидної лампи ДРБ-8-1. Довжина хвилі ультрафіолетового випромінювання становить 254 нм, робоча напруга – 220 В, частота струму – 50 Гц, потужність – 15 ВА. Тривалість опромінення композицій (без твердника) становила $t = 20 \pm 0,2$ хв., маса композицій $m = 100$ г.

У подальшому, після введення твердника і нанесення покриттів, проводили термічну обробку зразків за такими температурно-часовими параметрами: формування клейового з'єднання, витримка зразків протягом 36 год. при нормальних умовах, температурна обробка при $T = 393 \pm 2$ К протягом 2 год., витримка зразків при нормальних умовах протягом 60 год. з наступним проведенням випробувань.

Дослідження циклічної міцності системи “основа (сталь Ст.3) – захисне покриття” проводили на магнітострикційній високочастотній установці, яка обладнана апаратурою управління, контролю та реєстрації результатів експерименту і забезпечує випробування матеріалів з покриттями на циклічну міцність з допомогою прискорених порівняльних досліджень при високих частотах навантаження (до 10 кГц). В експериментах використовували призматичні консольні зразки, які виготовляли з листового матеріалу – сталі Ст.3. У процесі досліджень довжина консолі експериментально коректується так, щоб руйнування зразка відбувалося на певній віддалі від місця закріплення. Після нанесення покриттів з товщиною $h = 0,40-0,45$ мм зразки підлягали циклічному навантаженню за визначеними формами поперечних коливань.

Обговорення результатів експерименту. З метою визначення впливу попередньої комплексної обробки епоксидних композицій зовнішніми полями на циклічну міцність покриттів запропоновано варіанти модифікації як композицій, так і окремих компонентів системи. Зовнішню обробку проводили до введення твердника за оптимальними режимами [4] у визначеній послідовності згідно з такими варіантами:

- а) необроблена композиція;
- б) композиція, модифікована за режимом: УФО смоли ЕД-20 з наступною МО композиції;
- в) композиція, модифікована за режимом: УФО смоли ЕД-20 з наступною МО наповнювача;
- г) композиція, модифікована за режимом: МО композиції з наступним УФО композиції.

На попередньому етапі проведено дослідження впливу УФО і МО епоксидної матриці незалежно на циклічну міцність системи “основа – епоксидне покриття” (табл. 1). Встановлено, що циклічна міцність матеріалу з покриттями після модифікації підвищується в середньому на 15 – 26% порівняно з системою “основа – необроблена епоксидна матриця”. Циклічна міцність сталевий основи з матрицею після МО дещо вища (на 10 – 15%) порівняно з міцністю основи з покриттям після УФО. Це пов’язано, у першу чергу, з особливостями структуроутворення гомогенних систем після зовнішньої модифікації як на межі поділу фаз “покриття – основа”, так і в об’ємі матриці. Такий ефект зумовлений кращою фізико-хімічною взаємодією вільних новоутворених радикалів у процесі УФО з активними центрами на поверхні основи та кращою змочуваністю субстрату, що забезпечує кращі адгезійні та когезійні властивості КП. Щодо впливу магнітної обробки на покращення циклічної міцності, то такий фактор можна пояснити взаємодією доменів макромолекул епоксидного олігомера у процесі МО з активними центрами на поверхні дисперсних часток. Це зумовлює зміну конформаційного набору макромолекул епоксидної смоли на межі поділу фаз у процесі формування покриття.

Таблиця 1 - Вплив комплексної обробки композицій зовнішніми полями на межу витривалості покриттів, сформованих на сталі Ст.3

Вид покриття	Вид обробки	Межа витривалості σ_{-1} , МПа при $N=10^6$ циклів навантаження
Покриття 1	-	118
Покриття 2	УФО	132
Покриття 3	МО	159

Наступним етапом було проведення досліджень циклічної міцності КП, наповнених частками оксиду міді і фериту при оптимальному вмісті, який визначений на основі результатів випробувань когезійних і адгезійних властивостей захисних покриттів [5,6]. При цьому важливим було визначення оптимального варіанту поетапної комплексної обробки гетерогенних композицій зовнішніми полями для

підвищення циклічної міцності досліджуваних КП. Криві втоми досліджуваних покриттів залежно від виду комплексної попередньої обробки композицій зовнішніми полями представлені на рис. 1. Експериментально встановлено, що усі без винятку види покриттів незалежно від варіанту комплексної обробки підвищують циклічну міцність (σ_{-1}) системи “стальна основа – епоксикомпозитне покриття”. Показано, що найбільш оптимальним режимом модифікації епоксидних композицій з метою підвищення циклічної міцності матеріалу незалежно від магнітної природи основного і додаткового наповнювача є поетапне ультрафіолетове опромінення епоксидної смоли з наступною магнітною обробкою композиції. У цьому випадку циклічна міцність зростає у 1,8 – 2,0 рази. Інші режими комплексної обробки, такі як УФО смоли + МО наповнювача та МО композиції + УФО композиції не забезпечують такого суттєвого підвищення σ_{-1} порівняно з системами, які містять необроблені покриття. Однак показники циклічної міцності таких систем достатньо високі.

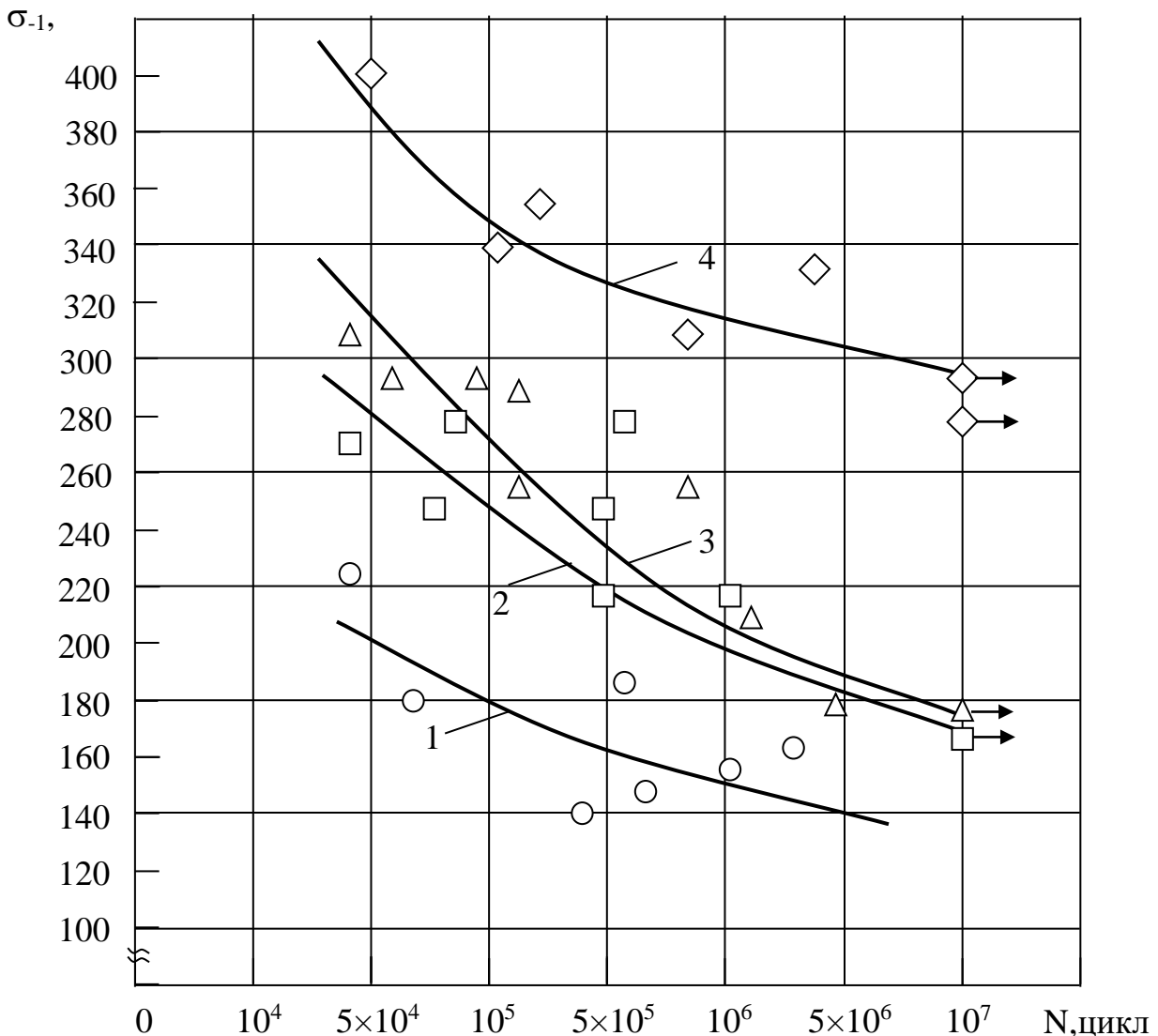


Рисунок 1 - Криві втоми КП на сталій основі, які містять оксид міді (80 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидної смоли ЕД-20) та додатково ферит (40 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидної смоли ЕД-20):

- 1 - ○ - необроблена композиція;
- 2 - □ - композиція, модифікована за режимом: УФ-опромінення смоли ЕД-20 з наступною МО композиції;
- 3 - △ - композиція, модифікована за режимом: УФ-опромінення смоли ЕД-20 з наступною МО наповнювача;
- 4 - ◇ - композиція, модифікована за режимом: МО композиції з наступним УФ-опроміненням композиції.

Важливим при обґрунтуванні механізму зростання межі витривалості матеріалу є величина залишкових напружень у зовнішньому поверхневому шарі на межі поділу фаз “покриття-основа”. Це суттєво впливає на характеристики міцності матеріалу з покриттям, оскільки залишкові напруження, особливо їх величина та знак, в умовах багатоциклового навантаження можуть призвести до відшарування покриття від субстрату. Відомо [5,6], що при створенні поверхневих стискуючих напружень межа витривалості підвищується, а при створенні розтягуючих залишкових напружень – знижується. Попередніми дослідженнями встановлено, що на поверхні існують стискуючі залишкові напруження, які після зовнішньої модифікації епоксидних композицій суттєво зменшуються за абсолютною величиною [4]. Дослідженнями зламу зразків методом оптичної мікроскопії встановлено, що на поверхні основи не спостерігали відшарування покриттів під впливом циклічного навантаження. Це є показником високої адгезійної міцності досліджуваних покриттів та незначних залишкових напружень. Крім того, як зазначалося вище, спосіб комплексної обробки композицій за варіантом “б” (УФО епоксидної смоли з наступною МО композиції) характеризується найвищими значеннями межі витривалості (σ_{-1}) для усіх видів покриттів. Причому покриття, сформовані за варіантом “в” і “г”, відзначаються вищими адгезійними характеристиками. На наш погляд, це пояснюють тим, що спосіб формування покриттів за варіантами “в” і “г” зумовлює появу більш високих показників значень залишкових напружень у міжфазній ділянці, внаслідок чого формується більш жорстка структура матеріалу покриття. Навпаки, попередня УФО епоксидної смоли, яка зумовлює формування вільних радикалів, з наступною МО композиції, що забезпечує кращу взаємодію макромолекул та вільних радикалів у поверхневих шарах матриці навколо наповнювача і у шарі на межі поділу фаз “покриття – основа”, сприяють формуванню більш пластичного матеріалу покриття з одночасно високими адгезійними і когезійними властивостями. Це підвищує циклічну міцність сталі з модифікованими полями в умовах навантажень високої частоти.

Висновки. Залежно від параметрів технологічного процесу формування покриттів (варіантів ультрафіолетової та магнітної обробки композицій) зростає циклічна міцність захисних покриттів. Встановлено, що попередня комплексна поетапна УФО епоксидної смоли з наступною МО композиції забезпечує підвищення межі витривалості системи “основа - модифіковане КП” у 1,8-2,0 рази порівняно з системою “основа - необроблене КП”.

Використання отриманих результатів у виробництві при ремонті і модернізації технологічного устаткування дає можливість прогнозувати довговічність конструктивних елементів і зменшити час на визначення пошкоджень у деталях. Це, у свою чергу, дозволить підвищити ефективність ремонту з одночасним зниженням затрат. Використання модифікованих епоксидних композитних покриттів дозволить підвищити ресурс роботи обладнання, що виготовлені зі сталі чи кольорових металів і сплавів. Крім того, це надасть можливість підвищити ефективність ремонту силових установок при зниженні матеріальних затрат та часу. У подальшому авторами планується проведення досліджень стійкості до спрацювання модифікованих зовнішніми полями композитних матеріалів.

Література

1. Дувакина Н.И., Ткачева Н.И. Выбор наполнителей для придания специальных свойств полимерным материалам // Пластические массы.- 1989.- №11.- С. 46-48.
2. Горбунова И.Ю., Кербер М.Л. Модификация кристаллизующихся полимеров // Пластические массы.- 2000.- №9.- С. 7-11.
3. Букетов А.В. Дослідження властивостей модифікованих епоксикомпозитів під впливом теплового поля // Вісник ТДТУ.- Тернопіль.- 2004.- №3.- Том 9.- С. 34-38.
4. Букетов А.В., Стухляк П.Д., Бадищук В.І. Вплив активності наповнювача на властивості епоксидних матеріалів // Вісник ТДТУ.- Тернопіль.- 2003.- №4.- Том 8.- С. 12-20.
5. Трощенко В.Т. Прочность материалов при переменных нагрузках.- К.:Наукова думка, 1978.- 176 с.
6. Хасуй А. Механика напыления.- М.: Машиностроение, 1975.- 288 с.

Одержано 02.04.2007 р.