

## З'ЄДНАННЯ МЕТАЛУ З ПОЛІМЕРАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ HEAT PRESS COOL-INTEGRATIVE (HPCI)

Гречка О. М., студ. гр. ЗВ-161

Науковий керівник: **Олексієнко С. В.**, к.т.н., доцент  
*Національний університет "Чернігівська політехніка"*

З'єднання (у техніці) – це складова частина технологічного процесу, що полягає у виготовленні (а саме – складанні) за допомогою фізичного з'єднання (поєднання) в одне ціле виробів із деталей, складальних одиниць (вузлів) та/або агрегатів. За відносним положенням складових елементів та видом зв'язку між ними, з'єднання поділяють на:

- рухомі – шарніри, вальниці тощо;
- розбірні нерухомі – різьбові (нарізеві), клемові, клинові, штифтові, шпонкові, шліцьові (зубчасті) тощо;
- нерозбірні нерухомі – заклепкові, зварні, клейові, паяні, пресові (з натягом) тощо [1].

Для отримання нероз'ємного з'єднання двох різнорідних або однорідних матеріалів використовують з'єднання за допомогою зварювання, паяння, склеювання та пресування. Усі ці методи потребують застосування додаткових матеріалів та час на утворення з'єднань.

Галузь промисловості, що найбільш широко застосовує такі методи – автомобільна промисловість. Саме вона потребує надійних, міцних та витривалих з'єднань, що мають низьку собівартість та можуть бути швидко виконані (в тому числі – завдяки автоматизації процесу). Усі види з'єднань мають свої переваги та недоліки, можуть бути автоматизовані або роботизовані і мають високу продуктивність під час використання в промисловості.

Під час паяння в зону з'єднання важливо вносити додатковий матеріал, необхідний для утворення міжатомних зв'язків між двома різнорідними матеріалами: нероз'ємне з'єднання утворюється за рахунок розплавлення додаткового металу, що має меншу температуру плавлення, ніж матеріали, що з'єднуються, після його кристалізації [2].

Під час клепації двох деталей необхідно здійснити свердління або прорубування металу, зенкування або штампування гнізда під потайну голівку заклепки, встановлення самої заклепки в отвір, прикладання навантаження для утворення замикаючої голівки за рахунок деформації заклепки [3].

Склеювання виконується за допомогою клейових розчинів та ґрунтується на явищі адгезії. Процес склеювання містить цілу низку додаткових операцій для утворення з'єднання.

Для утворення нероз'ємного з'єднання між двома деталями, що не потребує використання додаткового матеріалу та досить швидко виконується (в порівнянні з іншими методами), застосовують точкове зварювання. Цей метод ґрунтується на струмі, що протікає між двома електродами. Для утворення зварної точки дві деталі встановлюють у проміжок між двома мідними електродами, які стискають дві заготовки для утворення фізичного контакту. Після утворення контакту через деталі на деякий час пропускають зварювальний струм, за рахунок якого металеві деталі отримують зовнішню енергію, що приводить до розплавлення зони контакту металу між двома електродами, та одночасно прикладають навантаження, за рахунок чого із стику видавлюються забруднення та оксидні плівки та утворюється зварювальна ванна. Після вимкнення зварювального струму зварна ванна знаходиться під навантаженням. Зі зниженням температури починається кристалізація рідкого металу і утворюється зварна точка, після чого прикладене навантаження знімають [4].

Сьогодні розвиток автомобільної промисловості вимагає зменшення мас автомобілів, підвищення пасивної безпеки пасажирів (жорсткості несучого каркасу). Виникає потреба в застосуванні матеріалів, які мають більшу жорсткість, пружність та здатність стримувати удари. Зараз для несучих конструкцій деяких марок автомобілів використовують деталі,

виготовлені з карбону. Застосування карбонових елементів дозволяє зменшити масу, що позитивно впливає на технічні характеристики, підвищує міцність на скручування та стійкість до деформацій несучої частини автомобіля, що в свою чергу призводить до підвищення пасивної безпеки автомобіля для пасажирів. Такі виробники як Ferrari, McLaren та Lamborghini виготовляють подібні конструкції за допомогою клепаання.

З 2015 року виробник автомобілів марки BMW у своїх серійних моделях (таких як BMW i3, BMW i8 та BMW 7-series) були орієнтовані на нішу електрокарів, тому використали гібридну силову установку. Однією з особливостей цих автомобілів було те, що несуча частина автомобіля виконувалася у вигляді цілісного контурного кокона, що захищав пасажирів. Цей кокон був виготовлений за допомогою попереднього склеювання елементів та їх подальшого формування поліефірними смолами. Цю технологію виробник BMW запатентував під назвою RTM (Resin Transfer Moulding). Вона базується на відкачуванні повітря під дією вакууму з форми, де знаходяться карбонові елементи, які у подальшому будуть формуватися поліефірними смолами. Ця технологія має дуже високу вартість, тому автомобілі, що виготовлені за даною технологією, мають високий ціник. Отже, безпечний та надійний автомобіль для багатьох недоступний [5].

З'єднання пластмас (або карбонових матеріалів) і металів являє собою складну задачу через відмінності їхніх фізичних властивостей. Загальновідомі методи з'єднання цих матеріалів мають свої недоліки: для склеювання необхідним є час для затвердіння клеїв, що затримує подальшу обробку, а під час клепаання пластик може бути легко пошкоджений. Крім того, клейове з'єднання і клепаання вимагають додаткових матеріалів, що збільшує виробничі витрати.

Вчені інституту матеріалознавства та промислових технологій ім. Фраунгофера (Дрезден) розробили з'єднувальний пістолет, який у лічені секунди створює з'єднання між металом і термопластичними матеріалами. Цей пістолет має модульну конструкцію і може бути легко інтегрований у виробничий процес (наприклад, шляхом установки робота на маніпулятор замість пістолета точкового зварювання). Під час попереднього перегляду, що відбувся 24 січня 2019 року на майданчику Ганноверського торгового ярмарку, вчений Аннет Клотцбах продемонстрував переваги з'єднувального пістолета.

Для здешевлення собівартості автомобілів з використанням карбонових елементів у несучій конструкції автомобіля була розроблена технологія Heat Press Cool-Integrative (HPCI). Сутність даної технології подібна до технології точкового зварювання. Процес відбувається за такою схемою: металеву та карбову деталі приводять у фізичний контакт, прикладають навантаження до місця контакту, за рахунок індукційного нагріву металевої деталі в точці прикладення навантаження поліефірна смола починає плавитися, після припинення нагріву стик двох деталей охолоджується, після чого знімають прикладене навантаження.

Для утворення міцного контакту між сталеву деталлю та деталлю з карбону використовуються фізичні та механічні властивості цих двох матеріалів – шорсткість поверхні сталі та текучість розплавленої смоли. Площа контакту збільшується за рахунок шорсткості та текучості, тому утворюється надійне з'єднання, яке може витримувати досить великі навантаження на розрив.

Для розігріву металевої частини використовується індукційний нагрів, оскільки деталі з карбону є діелектриками та не мають здатності проводити струм. Для притискання двох деталей між собою використовують мідні накінецьники. Температура, що застосовується для нагріву та розплавлення термопластичної поліефірної смоли, досить невисока, тому в зоні з'єднання зона термічного впливу відсутня, що позитивно впливає на механічні характеристики [6].

Отже, технологія Heat Press Cool-Integrative (HPCI) для утворення нероз'ємних з'єднань металів з полімерами досконаліша за інші, адже не потребує попередньої підготовки деталей, додаткових витратних матеріалів та великої кількості операцій для утворення з'єднань. Це приводить до підвищення продуктивності процесу та якості утворених з'єднань, оскільки у процесі беруть участь лише поверхневі шари матеріалів, тому в об'ємі матеріалів не

відбувається структурних перетворень (на відміну від точкового зварювання, під час якого такі перетворення відбуваються під впливом високих температур). Саме тому дана технологія має перспективу замінити усі інші методи отримання нероз'ємних з'єднань металів з полімерами у майбутньому.

#### Список використаних джерел

1. З'єднання [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%27%D1%94%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F>.
2. Паяння [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D1%8F>.
3. Клепання [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [http://esu.com.ua/search\\_articles.php?id=7608](http://esu.com.ua/search_articles.php?id=7608).  
Точкове зварювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://k-svarka.com/content/printsipova-skhiema-ta-sutnist-tochkovogho-zvariuvannia>.
4. Кузов автомобіля: сталь, алюміній, карбон і... картон? [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://itc.ua/articles/kuzov-avtomobilya-stal-alyuminiy-karbon-i-karton/>.
5. Joining gun bonds metal and plastic within seconds? [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2019/january/joining-gun-bonds-metal-and-plastic-within-seconds.html>.

УДК 621.791.18

### АДДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ЗВАРЮВАННІ

**Анощенко М. В., Зінченко М. М., Сибірський В. С., студ. гр. ЗВ-161**

**Науковий керівник: Ганєєв Т. Р., к.т.н., доцент**

*Національний університет «Чернігівська політехніка»*

Технології 3D друку с кожним роком стають більш досконалішими та доступними для виробництва [1]. Стандартні вже на сьогодні технології селективного лазерного спікання (LBM), електронно-променевого спікання (EBM), газопорошкового наплавлення з прямим підводом енергії і матеріалу (Direct Energy Deposition) активно застосовуються в авіабудуванні приладобудуванні та медицині. Однак на даний момент і перелік матеріалів обмежений і ціна від 400 грн/см<sup>3</sup> [2] не є доступною для машинобудівних підприємств, але напрям є досить перспективним (рис. 1).



*Рисунок 1 – Установка PLAZER 3D PW [1]*

Сьогодні набирають популярність адитивні технології, які використовують не порошок, а металевий дріт. Ці технології в якості теплового випромінювання використовують різні джерела енергії. Наприклад, технологія електронно-променевого наплавлення (Electron-Beam Freeform Fabrication, EBFF) використовує електронний промінь, лазерне наплавлення дроту (Laser Wire Cladding, LWC) - лазер, електродугове зварювання в середовищі захисного газу (Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM) - електричну дугу, швидке плазмове наплавлення