

потьмяніння на зовнішній кромці відсутні (ДММ справний і не вимагає заміни); середнє теплове навантаження – фрикційна поверхня забарвлюється у синій колір, що свідчить про короточасне нагрівання до 220 °С (ДММ не потребує заміни); високе теплове навантаження – проявляється у вигляді потемніння по зовнішньому діаметру або в районі заклепок кріплення, що свідчить про тривалу роботу в режимі перегріву, близько 280 °С, (ДММ потребує заміни); надмірно високе теплове навантаження – зміна забарвлення ДММ з боків або зі зворотнього боку, а також виникнення тріщин на поверхні, свідчить про значний перегрів (ДММ однозначно підлягає заміні).

Висихання мастила і втрата демпфувальних властивостей ДММ виникає в результаті його роботи в умовах підвищеного теплового навантаження. Витікання (втрата) мастила виникає через перегрів або механічне пошкодження/перевантаження, спортивну манеру керування автомобілем [1,3].

Заклинювання підшипника може виникнути у результаті недостатнього його мащення (висока температура), що призводить до руйнування ДММ [2].

Отже, на основі розглянутих несправностей можна прийти до висновку, що надійна і тривала робота ДММ істотно залежить не тільки від конструктивних і масових параметрів ДММ, але й від водія автомобіля, зокрема, від його манери та стилю керування транспортним засобом. У доповіді аналізуються можливі шляхи підвищення надійності та ресурсу ДММ, обґрунтовуються рекомендації щодо режимів його експлуатації і діагностування на предмет виявлення пошкоджень.

#### Список літератури

1. <http://autoexpert.com.ua/stati/avtokomponenty/8123-dvuxmassovye-maxoviki-perezagruzka.html>
2. <https://www.drive2.ru/>
3. <https://aftermarket.zf.com/ru/ru/sachs/products/products-for-pc-and-lcv/dual-mass-flywheel/>
4. <http://ozapuske.ru/mahovik/dvuxmassovyj-maxovik-simptomy-polomki-dmf.html>
5. <https://passatworld.ru/showthread.php/158621-Resurs-dvuhmassovogo-mahovika>

**УДК 629.33.02:621.88:621.9.044**

### **ВИКОРИСТАННЯ САМОРІЖУЧИХ ЗАКЛЕПОК В КОНСТРУКЦІЇ КУЗОВА ПЕРОННИХ АВТОБУСІВ ДЛЯ АЕРОПОРТІВ**

**USING SELF-PIERCE RIVETS IN THE STRUCTURE OF THE BODY OF THE PLATFORMBUS FOR AIRPORTS**

**Микола Нечипорук, Юрій Воробйов**

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», вул. Чкалова, 17, м. Харків, 61070*

*The article describes the order of carrying out and the results of experimental studies and numerical simulation of pulsed riveting with a manual pneumatic impulse tool of steel self-pierce rivets in the construction of the body of the bus for airports.*

Поява перонних автобусів певною мірою пов'язано з розвитком пасажирських авіаперевезень. Перонний автобус – автобус, який доставляє пасажирів від аеровокзалу до приймаючого на борт пасажирів літака або, також, від літака до аеровокзалу. З такою метою досить часто використовуються звичайні міські автобуси, які привозять пасажирів з аеровокзалу безпосередньо до повітряного судна. Також у багатьох аеропортах є власні,

створені за спеціальним замовленням, вагони-автобуси. Вони, як правило, мають велику місткість, малу висоту підлоги і широкі двері – пасажиром з багажем за рахунок цього легше входити в автобус і виходити з нього. Також багато аеропортів світу використовують гібриди перонних автобусів і самохідних авіатрапів – автобуси-трапи. Насамперед перонні автобуси використовуються сучасними великими аеропортами для перевезення пасажирів між аеровокзалом і порівняно маломісними (зазвичай не більше 100 пасажиромісць) судами [1].

Сучасні наземні транспортні засоби (автомобілі, автобуси) все більше беруть від повітряних суден (літаків, БПЛА, вертольотів): використання авіаційних матеріалів – легких алюмінієвих сплавів і композиційних матеріалів (КМ); видів з'єднань – наприклад, клепаних; технологій – нанесення на кузов гальванічних покриттів, використання автопілотів та інше. Це відбувається не тільки через зростання швидкостей наземного транспорту, але в першу чергу через необхідність зниження ваги для зменшення витрати палива, підвищення корисного навантаження, економічної ефективності.

З'єднання автомобільних деталей з алюмінієвих сплавів зварюванням кілька утруднено (лише деякі сплави алюмінію добре мають гарну зварюваність), а з КМ або змішаних конструкцій (КМ + метал) і зовсім не можливо.

Заклепувальні ж з'єднання позбавлені таких недоліків. На рис. 1 представлені дані про обсяг використання різних видів з'єднань в конструкціях автомобілів Audi.

Поряд зі звичайними стрижневими заклепками і заклепками з сердечником, в автомобільній промисловості застосовується і клепка саморіжучими заклепками (Self-Piercing Riveting).

Клепка саморіжучими заклепками – це процес холодного з'єднання двох або більше листових деталей шляхом продавлювання заклепки через верхній лист і її осаді під впливом підтримки в нижньому аркуші без прорізання останнього.

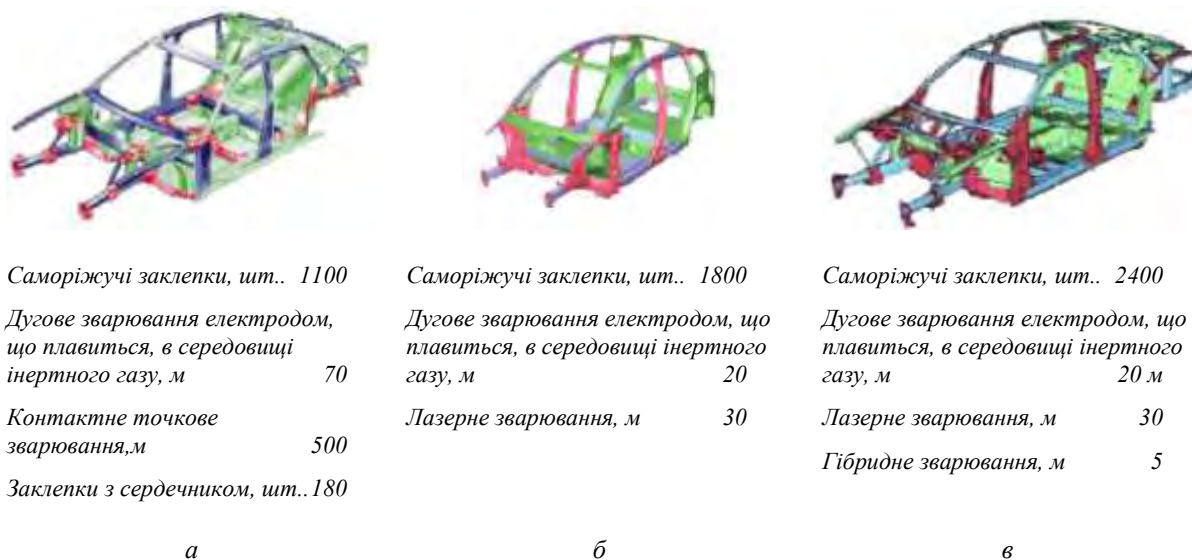


Рис. 1. Обсяг використання різних видів з'єднань на автомобілях марки Audi: а – Audi A8 (D2); 1994; б – Audi A2 (W10); 1999; в – Audi A8 (D3); 2002

В даний час при постановці саморіжучих заклепок застосовується, як правило, ручне (за допомогою ручних С-образних клепальних скоб) і автоматичне пресове клепання з профільованою підтримкою [2] (рис. 2). При цьому існує необхідність забезпечення співвісності системи «обтискач – заклепка – підтримка». Оскільки підтримка має чітко підібрану спрофільовану поверхню, то будь-яке відхилення від співвісності змінить картину деформування і призведе до появи браку.



Рис. 2. Принципова схема утворення з'єднання за допомогою саморіжучих заклепок

Застосування імпульсного способу постановки розглянутих заклепок дозволяє відмовитися від необхідності використання профільованої підтримки в зв'язку зі зміною характеру поведінки металу при високошвидкісному деформуванні, а, отже, відмовитися від необхідності забезпечення точного позиціонування обтискача, заклепки і підтримки щодо один одного.

Останнім часом з'явився інструмент для імпульсної постановки саморіжучих заклепок компанії ThyssenKrupp Technologies (рис. 3) [2]. Однак цей інструмент досить громіздкий (маса понад 50 кг) і може бути або стаціонарним, або встановлюватися на роботі.

Розроблений ХАІ ручної пневмоімпульсний клепальний інструмент мод. МПІ-90М та МПО-4 (рис. 3) має високу мобільність і може застосовуватися в місцях з обмеженим підходом [4].

Метою дослідження було виявлення можливості постановки сталевих саморіжучих заклепок ручним пневмоімпульсним інструментом в конструкціях транспортних засобів з алюмінієвих сплавів і «змішаних» пакетах.



Рис. 3. Пневмоімпульсні клепальні молотки мод. МПІ-90М (а) та МПО-4 (б)

Для досягнення поставленої мети були сформульовані і вирішені наступні завдання:

1. створення адекватної КЕМ процесу клепання саморіжучих заклепок;
2. проведення пошукового експерименту з метою перевірки адекватності моделі;
3. визначені енергетичні параметри процесу (початкова швидкість деформування і енергія удару).

Чисельне моделювання технологічного процесу імпульсного клепання виконувалося за допомогою програмного комплексу Simulia/Abaqus. Для спрощення моделі розглядається сектор величиною в  $10^\circ$ . Дана процедура дозволяє зменшити число елементів сітки, а також знизити час, який витрачається на розрахунок. Протестовані різні кінцево-елементні сітки для виявлення оптимальної. Щоб звести до мінімуму кількість вироджених елементів, застосована адаптивна сітка з довільною Лагранж-Ейлеровою поведінкою (ALE Adaptive Mesh). Даний інструмент дозволяє підтримувати високоякісну сітку протягом усього розрахунку, навіть при досягненні великих деформацій. Для визначення взаємодії між складовими одиницями моделі використана функція «загальний контакт» (General Contact). Ця функція дозволяє визначити контакт між більшістю або усіма областями моделі шляхом додавання одній взаємодії. Взаємодії, які задані за допомогою загального контакту, поширюються на всі наявні зовнішні поверхні, включаючи поверхні недеформованих тел.

Тертя на контактних поверхнях описується законом Амонта-Кулона. Прийнятий коефіцієнт тертя  $\mu = 0,2$  [5]. В результаті моделювання отримані картини напруг, швидкостей і переміщень. На рис. 4 представлена КЕМ напружень за критерієм Мізеса-Хілла в різні періоди часу.

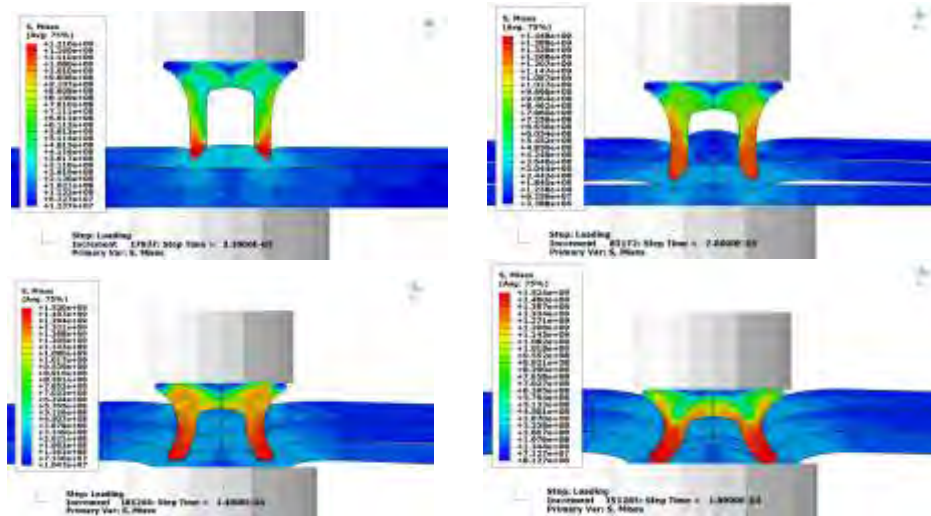


Рис. 4. КЕМ напружень за критерієм Мізеса-Хілла в різні періоди часу

Для оцінки адекватності розробленої КЕМ виконано порівняння з експериментальними даними.

Клепання виконано при різних початкових швидкостях обтискача і енергіях удару. Як показали результати пошукових експериментів при клепанні пакета, що складається з листів АМг2, спостерігалася часткове прорізання нижнього листа, кришечка, яка «закриває головки», залишалася на місці аж до препарування з'єднання (рис. 5). Це свідчить про порівняно оптимальні параметри виконання з'єднання.



Рис. 5. Результати клепання пакету з трьох листів АМг2 ( $V_{обж} = 23,6$  м / с,  $E_{обж} = 39,0$  Дж)

Порівняння КЕМ з експериментальними даними проведено по деформованим контурам пакета і заклепки, отриманим при моделюванні і при проведенні експерименту (рис. 6).



Рис. 6. Порівняння результатів моделювання з експериментом

Як видно з рис. 6, результати моделювання за допомогою розробленої КЕМ досить точно сходяться з експериментальними даними, що свідчить про адекватність моделі. Максимальне відхилення  $\Delta$  між контурами становить 0,21 мм.

Висновки:

1. Розроблена адекватна КЕМ технологічного процесу імпульсного клепаання саморіжучими заклепками.

2. В результаті проведення експериментів доведена можливість виконання з'єднань пропонованим способом.

#### Список літератури

1. Венгеров, И.А. Краткий автомобильный справочник НИИАТ. Т. 1 Автобусы. [Текст] / И.А. Венгеров, Ю.В. Дементьев, А.С. Кладко, В.В. Комаров. – М.: – ИПЦ «Финпол», 2002. – 76 с.
2. Stuhmeyer A. Simulation of self-piercing riveting processes / A. Stuhmeyer // CADFEM. – 2005. – 27 pp.
3. Neugebauer R. Joining by forming / R. Neugebauer // Fraunhofer IWU. – 2009. – 2 pp.
4. Воробьев Ю.А. Разработка технологического процесса и инструмента импульсной клепки авиационных конструкций из углепластика: Дис...канд. техн. наук: 05.07.04. – Х., 2004. – 166 с.
5. Porcaro R. An experimental and numerical investigation on self-piercing riveting / R. Porcaro, M. Langseth, S. Weyer, H. Hooputra. – 2007. – 4 pp.

УДК 629.45.027.35

### БАГАТОТОЧКОВЕ ПОГЛИНАННЯ ЕНЕРГІЇ УДАРУ ДАХОМ АВТОБУСА ПРИ ЙОГО ПЕРЕКИДАННІ

MULTIPLE ENERGY EXPLOSION ABSORBING ROOF FOR BUS ROLLOVER

Іван Керницький<sup>1</sup>, Богдан Дівесв<sup>2</sup>, Орест Горбай<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SGGW Warszawa;

<sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка»,  
Україна, 79000, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

*The problems of shock transition by the bus rollover to the passengers are discussed. The shock-absorbing roof of the bus comprising energy-absorbing elements is provided, where the energy-absorbing elements are made in the form of a spatial rod system consisting of bearing rods, interconnected by a power absorbing composite rod with adjustable energy absorption and absorbing couplings, installed in the mounting areas of bearing rods. The influences of impact absorber parameters on the dynamic properties for the bus are investigated. Optimal impact absorber parameters are determined.*

Ступінь пошкоджень транспортного засобу та травматичність пасажирів при аваріях залежить від здатності структури поглинути максимальну кількість кінетичної енергії, зберігаючи при цьому цілісність життєвого простору пасажирського салону. Для забезпечення структурної цілісності транспортного засобу та його здатності поглинати енергію удару, важливо вивчити характер руйнування, щоб зменшити пікові навантаження та покращити енергетичну здатність поглинання удару.

Ці фактори можна зменшити за допомогою спеціальних енергопоглинаючих пристроїв. Перекидання автобуса – це одна із серйозних аварій. Риск фатальних наслідків при перекиданні більший від інших випадків. Визначено, що хоч частка аварій з