

НУБІП України

НУБІП України

НУ

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.11 - МР.1944 "С" 2022.12.30. 001 ПЗ

НУ

ПОЛЩУК ОЛЕКСІЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

2023 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

УДК 631.3:629.083

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

технічного сервісу та інженерного
(назва кафедри)
менеджменту ім. М.П.Момотенка

Вячеслав БРАТШКО

(підпис)

(ПІБ)

Іван РОГОВСЬКИЙ

(підпис)

(ПІБ)

«___» _____ 2023 р.

«___» _____ 2023р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Удосконалення клеє-заклепувальної технології збирання
автомобільних кузовів в умовах автосервісного підприємства

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»
(код і назва)

Освітня програма «Автомобільний транспорт»
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

Доктор технічних наук, професор
(науковий ступінь та вчене звання)

Войтюк Валерій Дмитрович
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доц.
(науковий ступінь та вчене звання)

Іщенко Валерій Васильович
(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Поліщук Олексій Вячеславович
(ПІБ)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М.П.Момотенка

д.т.н., проф. Іван РОГОВСЬКИЙ
(науковий ступінь, виснє звання) (підпис) (ПІБ)

2023 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Полушуку Олексію Вячеславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

(код і назва)

Освітня програма «Автомобільний транспорт»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Удосконалення клеє-заклепувальної технології збирання автомобільних кузовів в умовах автосервісного підприємства

затверджена наказом ректора НУБіП України від «30» грудня 2022 р. № 1944 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи Науково – технічна література; результати науково-дослідних робіт по літературних джерелах по вивченню питання клеє-заклепувальної технології збирання автомобільних кузовів в умовах автосервісного підприємства

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз стану досліджуваного питання
2. Розрахунок показників якості клеє-заклепувального сполучення
3. Експериментальне дослідження властивостей клеє-заклепувального сполучення у залежності від характеристик використаного клею
4. Експериментальне дослідження властивостей клеє-заклепувального сполучення у залежності від технології клепки.
5. Розробка технологічних процесів ремонту автомобільних кузовів з застосуванням клеє-заклепувальної технології

Перелік графічного матеріалу Електронна презентація на 21 слайдах

Дата видачі завдання «11» листопада 2022 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Іщенко В.В.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Поліщук О.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Удосконалення клеє-заклепувальної технології збирання автомобільних кузовів в умовах автосервісного підприємства»

Магістерська кваліфікаційна робота складається з 5 розділів, висновку, списків літературних джерел з 50 найменувань. Основні частини роботи викладені на 90 сторінках друкованого машинописного тексту, розміщує в собі 37 рисунків та 19 таблиць.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена клеє-заклепувальної технології збирання автомобільних кузовів.

На підставі проведених теоретичних та експериментальних Розроблено технологічні рекомендації щодо впровадження клеє-заклепувальної технології при ремонті автомобільних кузовів залежно від типу виробництва та виду заклепок. Розглянуто способи запобігання типовим дефектам при подальшому монтажі склепаних деталей, для кожної технологічної операції розроблено режими, які дозволяють звести до мінімуму можливі технологічні дефекти. Впровадження розробленої технології при ремонті автомобільних кузовів дозволить підвищити їхню ремонтпридатність за рахунок забезпечення можливості демонтажу клеєклепанних з'єднань.

Проведено порівняльний техніко-економічний аналіз ремонту автомобільних кузовів з використанням традиційного заклепування, клеє-заклепування з використанням епоксидного клею та клеє-заклепування з використанням клею-розплаву. Встановлено, що трудомісткість виготовлення клеє-заклепувального з'єднання з використанням клеїв-розплавів на 78% нижче, ніж при використанні традиційних епоксидних матеріалів, а трудомісткість демонтажу при використанні клеїв-розплавів нижче на 73%.

Ключові слова: клеє-заклепування, автомобільний кузов, технологія, демонтажу, клеї-розплав, параметри, режим роботи.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ЗМІСТ	4
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ	8
1.1. Особливості застосування традиційної заклепувальної технології при виробництві та ремонті автомобілів.....	8
1.2. Існуючі технології створення клеє-заклепувальних сполучень.....	10
1.3. Вимоги до матеріалів, що використовуються при створенні клеє-заклепувального сполучення.....	15
1.4. Особливості розрахунку заклепувальних та клеє-заклепувальних сполучень.....	24
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ КЛЕЄ-ЗАКЛЕПУВАЛЬНОГО СПОЛУЧЕННЯ	29
2.1. Розрахунок клеє-заклепувального сполучення.....	29
2.2. Вплив хвилястості поверхонь заклепувальних деталей, на характеристики якості клеє-заклепувального з'єднання.....	34
2.3. Алгоритм формування конструкторсько-технологічного рішення в умовах автосервісного підприємства.....	39
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КЛЕЄ-ЗАКЛЕПУВАЛЬНОГО СПОЛУЧЕННЯ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ХАРАКТЕРИСТИК ВИКОРИСТАНОГО КЛЕЮ	44
3.1. Обґрунтування доцільності використання клею в заклепувальному з'єднанні під час ремонту автомобільних кузовів.....	44
3.2. Обґрунтування вибору клею для клеє-заклепувальної технології збирання автомобільних кузовів в умовах автосервісного підприємства.....	46
3.3. Експериментальне дослідження властивостей міцності клеє-заклепувального сполучення з різними типами клеїв.....	52
3.4. Дослідження ремонтпридатності клеє-заклепувальних з'єднань під час ремонту автомобільних кузовів.....	57
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КЛЕЄ-ЗАКЛЕПУВАЛЬНОГО СПОЛУЧЕННЯ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТЕХНОЛОГІЇ ЗАКЛЕПУВАННЯ	61
4.1. Обґрунтування вибору типу заклепок, що використовуються при створенні клеє-заклепувальних з'єднань при збиранні.....	

	автомобільних кузовів в умовах автосервісного підприємства.....	61
4.2.	Дослідження впливу технологічних факторів на властивості клеє-заклепувального сполучення.....	64
4.3.	Дослідження міцності клеє-заклепувального сполучення після витримки в агресивних середовищах.....	65

РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ РЕМОНТУ

	АВТОМОБІЛЬНИХ КУЗОВІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ КЛЕЄ-ЗАКЛЕПУВАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ.....	67
5.1.	Розробка технології ремонту автомобільних кузовів із застосуванням клеє-заклепувальної технології.....	67
5.2.	Рекомендації щодо застосування технології створення клеє-заклепувальних з'єднань під час ремонту автомобільних кузовів...	74
5.3.	Розробка способів демонтажу клеє-заклепувальних з'єднань під час ремонту автомобільних кузовів.....	76
5.4.	Оцінка техніко-економічної ефективності застосування клеє-заклепувальної технології при ремонті автомобільних кузовів в умовах автосервісного підприємства.....	79

ВИСНОВКИ..... 84

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 86

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Ремонт автомобільних кузовів є одним з найбільш складних технологічних завдань відновлення експлуатаційних властивостей автомобілів. Особливу складність є ремонт заклепувальних з'єднань елементів кузовів.

Заклепувальну технологію застосовують при складанні різномірних або погано зварюваних матеріалів, термооброблених або остаточно оброблених точних деталей, для яких неприпустиме нагрівання і тому не можна застосовувати зварювання. Заклепування також використовується при складанні в один пакет декількох деталей, а також деталей, що піддаються впливу вібрації та ударним навантаженням.

Виробничі клеє-заклепувальні технології не можуть бути використані при ремонті автомобілів, так як вони не враховують наявності різних експлуатаційних пошкоджень та специфіки подальшого демонтажу клеє-заклепувальних з'єднань, що призводить до суттєвих пошкоджень клеємеханічних з'єднань при демонтажі та низькій якості повторного складання з'єднань.

Таким чином, магістерська кваліфікаційна робота, спрямована на вдосконалення технологічних процесів створення та демонтажу клеє-заклепувальних з'єднань при ремонті автомобільних кузовів, є актуальною для підприємств з технічного обслуговування та ремонту автомобільного транспорту, оскільки дозволяє забезпечити можливості демонтажу елементів з'єднання без значних пошкоджень з можливістю їх подальшого відновлення та монтажу.

Метою роботи є розробка технологічних процесів створення та демонтажу клеє-заклепувальних з'єднань при ремонті автомобільних кузовів, що забезпечують підвищення ремонтпридатності.

Основні завдання дослідження, відповідно до мети полягали в наступному:

1. Розробити алгоритм оцінки точності клеє-заклепувальної сполуки залежно від конструкторсько-технологічних факторів;

2. Розробити критерії вибору клеїв-розплавів для створення клеє-заклепувальних з'єднань під час ремонту автомобільних кузовів;

3. Дослідити властивості клеє-заклепувальної сполуки при використанні клеїв-розплавів;

4. Розробити технологічні процеси створення та демонтажу клеє-заклепувальних з'єднань з використанням клеїв-розплавів при ремонті автомобільних кузовів;

5. Визначити техніко-економічну ефективність застосування клеє-заклепувальної технології під час ремонту автомобільних кузовів.

Об'єктом дослідження є кузовні елементи автомобілів, під час збирання яких використовується клеє-заклепувальна технологія.

Предметом досліджень є спосіб та технологія створення та демонтажу клеє-заклепувальних з'єднань автомобільних кузовів з використанням термопластичних клеїв-розплавів в умовах авторемонтного виробництва.

Методологія та методи дослідження оцінки якості пропонованих нових технічних рішень включають експериментальні методи визначення міцності клеє-заклепувальних сполук, проведення їх лабораторних і експлуатаційних випробувань. Пропоновані методи та підходи базуються на основних положеннях теорії надійності машин, теорії пружності, теорії непружної поведінки полімерних матеріалів, методів планування експерименту, на експериментальному дослідженні міцності та опору втомі зразків, виготовлених з використанням клеєклепанної технології.

Наукова новизна роботи полягає в:

- розроблення алгоритму прийняття ефективних конструкторсько-технічних рішень створення клеє-заклепувальних сполук з урахуванням взаємопов'язаності конструкторських та технологічних етапів в умовах автосервісного підприємства;

- встановлення закономірностей між фізичною природою клею та клеє-заклепувальною технологією для умов автосервісного підприємства;

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ

НУБІП УКРАЇНИ

У даному розділі наводяться результати літературного огляду, проведеного з вивчення технології заклепування та клеє-заклепування при виробництві та ремонті автомобільних кузовів, розглядаються їх основні відмінності та галузі застосування. На підставі проведеного аналізу робіт з даної теми встановлено найбільш актуальні проблеми в галузі застосування клеє-заклепувального з'єднання при ремонті автомобільних кузовів, які потребують вирішення, сформульовано мету та завдання роботи.

НУБІП УКРАЇНИ

1.1. Особливості застосування традиційної заклепувальної технології при виробництві та ремонті автомобілів

НУБІП УКРАЇНИ

Заклепуванням називають технологічний процес отримання нероз'ємного з'єднання шляхом осадження виступаючої частини стрижня заклепок та формування з неї замикаючої голівки необхідної форми та розміру. Заклепувальні сполучення можуть бути отримані без використання заклепок, тобто, безпосереднім заклепуванням двох деталей.

НУБІП УКРАЇНИ

Заклепування, як технологічний процес, відома з давніх-давен, цієї технології більше 2000 років. Часто археологи знаходять під час розкопок різні предмети, в яких застосовувався даний метод з'єднання. На початку 19-го століття вона використовувалася як один з головних методів отримання нероз'ємних з'єднань металів, наприклад, відома всім Ейфелева вежа в Парижі зібрана безпосередньо із застосуванням заклепок. Але у зв'язку з розвитком зварних технологій, заклепування була відсунута на задній план і застосовувалася дедалі рідше. З початком застосування різномірних матеріалів різних виробництвах, де вимагалось отримання нероз'ємних з'єднань, заклепування знову вийшла передній план [43].

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

Заклепування краще за інші технології підходить для з'єднання високоміцних сталей, алюмінію, магнію та штучних матеріалів, тобто тих матеріалів, які сьогодні широко використовуються в різних галузях

НУБІП УКРАЇНИ

промисловості, а переважно в авіа- та суднобудуванні. Останнім часом заклепування все частіше почали застосовувати і в автомобілебудуванні у зв'язку із застосуванням вищезгаданих різномірних матеріалів. Завдяки їй можна скріплювати деталі без негативного впливу на них. Деталі не піддаються суттєвому нагріванню, а значить ризик короблення зведений у цьому випадку до мінімуму. Відсутня освіта шкідливих виробничих парів та випарів, що виділяються при зварюванні та пайці.

Найчастіше заклепування використовується при складанні листових деталей. Але, незважаючи на відсутність шкідливого впливу, як на метал, так і на людину, заклепувальні сполучення є більш трудомісткими і їх зазвичай застосовують тільки в тих випадках, коли інші способи збирання не застосовуються з конструктивних або технологічних міркувань, наприклад, при збиранні пасажирського літака застосовують до 25 млн. шт. заклепок.

Залежно від міцності та герметичності, всі заклепувальні сполучення поділяють на дві групи:

- 1 група – силові;
- 2 група – силові щільні.

З'єднання першої групи використовуються при складанні металевих з'єднань, що працюють без тиску. З'єднання другої групи застосовуються при збиранні конструкцій з композиційних полімерних матеріалів (ПКМ), а також в металевих конструкціях, що працюють під тиском (наприклад, трубопроводи).

Можна виділити такі основні переваги заклепувальних сполучень:

- висока стійкість до вібраційних та ударних навантажень;
- універсальність, тобто. можливість отримання нероз'ємного з'єднання в конструкціях, коли інші способи збирання не застосовні;
- стабільність та контрольованість якості складання. Недоліком заклепувальних сполучень є:

➤ висока трудомісткість виготовлення;

➤ підвищена витрата металу;

➤ ослаблення перерізу деталей отворами;

концентрації напруги;
 порушення гладкості зовнішніх поверхонь.
 Також до основних недоліків заклепувальних сполучень відноситься

висока трудомісткість, так як для забезпечення необхідної міцності заклепувальних конструкцій потрібна постановка заклепок з невеликим кроком

та застосування багаторядних швів. Це призводить до великої витрати заклепок, збільшує трудомісткість та ускладнює конструкцію. Отвори в деталях, що з'єднуються, є джерелом концентрації напруг, причиною виникнення втомних тріщин і часто призводять до порушення герметичності конструкції.

Ще одним недоліком заклепувальних сполучень є їхня негерметичність і, як наслідок цього, низька корозійна стійкість. Багато в чому саме через це заклепувальні сполучення поступово замінюють на зварні.

Порушення герметичності відбувається і після герметизації заклепувальної сполучення, оскільки велика ймовірність виникнення електрохімічної корозії. При постановці заклепок у великогабаритних деталях з великою кількістю отворів має місце розбіжність отворів через взаємне усунення деталей. Використання поверхневої герметизації дозволяє лише частково вирішити проблему забезпечення герметичності з'єднання. Цих

недоліків частково позбавлені клеє-заклепувальних сполучень.

1.2. Існуючі технології створення клеє-заклепувальних сполучень

В даний час все більше автовиробників починають застосовувати у своїх кузовах нові полегшені матеріали, що дозволяють знизити вагу автомобіля і тим самим зменшити споживання палива. У ролі «легких» матеріалів можуть використовуватися алюмінієві сплави, і навіть композиційні матеріали з урахуванням вуглецевих волокон (вуглепластики).

Установка таких деталей на автомобіль викликає деякі труднощі, оскільки силовий каркас кузова виконаний із міцних сталей і точкове зварювання для кріплення деталей з інших матеріалів не підходить через неоднорідність матеріалів. Тому виробники все частіше почали застосовувати

при складанні технології проклеювання та заклепування.

Наприклад, компанія BMW з 2009 року поділяє пошкодження кузовів на три основні категорії: 1 - деталі, що встановлюються за допомогою різьбових з'єднань, 2 - деталі, що не вимагають рихтування, що встановлюються за допомогою клею та заклепування, 3 - деталі, що вимагають рихтування та встановлюються за допомогою проклеювання та заклепування. Як стверджують самі майстри, переваги даної технології перед класичним точковим зварюванням полягають у зменшенні часу при ремонті та поліпшеному захисті від корозії [35].

Склеювання та заклепування – це дві різні операції, які при поєднанні їх у єдиний технологічний процес, отримали назву клеє-заклепування, а отримані сполучення – клеє-заклепувальними.

У той же час, клеє-заклепувальна технологія не є простою складовою технології склеювання та заклепування.

Основними технологічними операціями при склеюванні є [71, 83, 106]:

- 1) Підготовка поверхні деталей, що склеюються;
- 2) Підготовка склеювальних матеріалів;
- 3) Нанесення склеювальних матеріалів;
- 4) Відкрита витримка;
- 5) Складання склеювальних деталей;
- 6) Контроль якості клейового з'єднання.

Основними технологічними операціями при заклепуванні є:

- 1) Складання заклепувальних деталей;
- 2) Виготовлення отворів під заклепування (або розмітка під час використання самопробивних заклепок);
- 3) Заклепування;
- 4) Контроль якості.

Таким чином, тільки одна єдина операція – контроль якості для цих двох технологій є спільною, хоча насправді її спільною також не можна назвати, оскільки використовуються зовсім різні методи контролю. Для клейової

технології, це ультразвукові методи та різні еходефектоскопи [77]. У той же час, поряд з розвитком сучасної техніки контролю якості клейових сполучень, не менше поширення досі мають візуальні методи контролю, такі як оцінка суцільності клейового шва, відсутність у ньому видимих пор, рівномірність товщини клейового шару та ін. Такий, здавалося б, найпростіший контроль, також дозволяє визначити місця можливих дефектів і, що найголовніше, саме він дозволяє оцінити якість всієї технології, що використовується.

За оцінками багатьох фахівців якість клейового з'єднання залежить від технології підготовки поверхонь під склеювання. Для клейових технологій таких методів існує дуже багато, в тому числі і для очищення поверхонь металів, тоді як при заклепуванні такої операції або не проводять зовсім або використовують тільки найпростіші методи очищення, типу протирання ганчіркою.

Залежно від методу застосування тиску заклепування поділяють на ударну та методом пресування. При клеє-заклепуванні металевих конструкцій найбільше застосування знайшов ударний метод.

В даний час при створенні клеє-механічних сполучень застосовуються три способи отримання клеє-заклепувального сполучень [8]:

- 1) постановка заклепок по затверділому клейовому шару (заклепування після нанесення клею та після його затвердіння);
- 2) постановка заклепок по незатверділому клею (заклепування після нанесення клею, але перед його затвердінням);
- 3) введення клею після встановлення заклепування (заклепування до нанесення клею).

Переваги клеє-заклепувального сполучень, отриманих будь-яким із даних способів, полягають у наступному:

- висока міцність втоти;
- високі жорсткісні характеристики з'єднання;
- герметичність з'єднання;
- антикорозійний захист заклепувального шва;

економічна ефективність (зменшення метало- та трудомісткості за рахунок зменшення числа заклепок).
 До недоліків клеє-заклепувального сполучення належать такі фактори.

- при постановці заклепок по затверділому клейовому шару велика ймовірність пошкодження клейового шва, що призведе до порушення герметичності з'єднання та зниження його міцності;

- при постановці заклепок по незатверділому клейовому шву велика ймовірність забруднення інструменту надлишками незатверділого клею;

- при введенні клею після постановки заклепування збільшується тривалість технологічного процесу за рахунок додаткового часу на нанесення та затвердіння клею.

Загальним недоліком всіх трьох способів виконання клеє-заклепувального сполучень є відносна складність та трудомісткість контролю

якості склеювання. Вирішити цю проблему, на мою думку, можна за рахунок використання клейових матеріалів, які не вимагають тривалого затвердіння та не чутливі до низької якості підготовки поверхні металів перед нанесенням клею. Серед безлічі різних типів клеїв, до таких матеріалів відносяться термопластичні клеї-розплави.

Технологія нанесення термореактивних клеїв і термопластичних клеїв-розплавів дуже різна. Для нанесення термореактивних клеїв, які, зазвичай, перебувають у рідкому стані, використовують: кисті, шпателі, різні типи розпилювачів тощо. Клеї-розплави у вихідному стані є твердим матеріалом і

тому перед нанесенням на поверхню він спочатку повинен бути розплавлений. Для цього використовують спеціальні термомістолети, або будь-які інші інструменти.

Незважаючи на простоту технології застосування клеїв-розплавів, що здається, при їх використанні виникає безліч технологічних проблем. Найбільш

складною проблемою є швидке охолодження клею-розплаву при його безпосередньому контакті з холодною металевою поверхнею. Кінетика цього процесу залежить від теплофізичних властивостей використовуваного клею-

розплаву та температури його плавлення. Ще одним важливим фактором є температура деталей, що заклепуються, проте, як правило, вона дорівнює температурі повітря у виробничому приміщенні. Якщо товщина шару клею мала, його охолодження відбуватиметься з дуже великою швидкістю, то робітник може просто не встигнути встановити заклепування і провести процес заклепування. Інший, не менш складною проблемою є складність у забезпеченні рівномірної товщини клейового шва при використанні клеїв-розплавів.

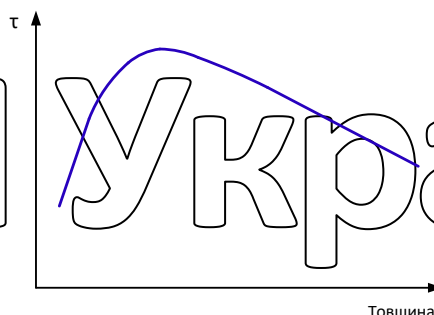


Рис. 1.1. Залежність міцності при зсуві від товщини клейового шва

Кількісні значення товщин, при яких величина адгезійної міцності буде максимальна, залежать в першу чергу від хімічної природи клею та властивостей матеріалів, що склеюються. При використанні епоксидних клеїв, за оцінкою авторів робіт оптимальні значення товщини становлять 0,1-0,25 мм, для акрилатних клеїв ці товщини дорівнюють 0,01-0,05 мм. У технічній літературі відсутні дані по оптимальним значенням товщин для клеїв-розплавів при яких забезпечувалися б найбільші значення міцності клейових сполучень.

Залежно від температури, заклепування поділяють на холодну та гарячу.

При холодному заклепуванні заклепки не нагрівають. При гарячому заклепуванні заклепки нагрівають до пластичного стану (для сталей до 900-1150°C), встановлюють в отвір і беруть в облогу клепацьким інструментом.

Гаряче заклепування застосовується для з'єднання сталевих деталей, при діаметрі заклепок понад 14 мм.

При гарячому заклепуванні клейовий матеріал частково вигорє і тому, як правило, клеє-заклепувальне з'єднання отримують тільки при холодному заклепуванні. Разом з тим використання клейових матеріалів при гарячій клепаці

можливе, якщо клейовий матеріал вводиться в шов після процесів заклепування або якщо проводити процес заклепування після затвердіння клею і використовувати термостійкі клейові матеріали.

Клеє-заклепувальні сполучення за своїми деформаційно-міцними властивостями вигідно відрізняються від клепаних, так як мають більш високу міцність при статичних і вібраційних навантаженнях, є герметичними і легшими.

На думку ряду авторів порівняно з заклепувальними та клейовими сполученнями, клеє-заклепуванні сполучення мають більш високу міцність на зсув (на 15-35%), рівномірний (на 20%) та нерівномірний відрив (на 25-40%).

Клеє-заклепувальна технологія є не тільки найнадійнішим способом забезпечення герметичності, але й одним із найдешевших.

При навантаженні клеє-заклепувального з'єднання клейовий шов сприймає значну частину напруги, розвантажує заклепування і знижує деформування листів. У клеє-заклепувальному з'єднанні концентрація напруги за площею перерізу не тільки зменшується, але й вирівнюється і підвищує міцність з'єднання, особливо при циклічних навантаженнях.

1.3. Вимоги до матеріалів, що використовуються при створенні клеє-заклепувального сполучення

Питанням вибору клейових матеріалів, у тому числі при створенні різних типів клеє-механічних сполучень, у роботах Петрової А.П., Кардашова Д.А., Мотовіліна Г.В. ін приділено багато уваги, однак у переважній більшості автори обмежувалися перерахуванням усіх можливих умов, які у реальному виробництві виконати практично неможливо. Під пунктом 1 автори наводять вимогу щодо міцності, вказуючи, що «адгезія клею до субстрату не може бути менше 1/10 когезійної міцності матеріалу, що склеюється». Під пунктом 2 цього ж списку вимог зазначено, що «деформаційні характеристики клею повинні збігатися або наближатися до аналогічних властивостей субстрату». Ця вимога може бути забезпечена, наприклад, при використанні клеїв на основі каучуків,

призначених для склеювання між собою гум, проте вона не може бути виконана,

Найзагальнішими вимогами до клею є:

- необхідні деформаційно-міцності, теплостійкість і тривала стійкість до робочих середовищ, оскільки саме від них залежатиме довговічність експлуатації клейового з'єднання;

- необхідні технологічні властивості, до яких насамперед відносяться температура і час затвердіння, тиск, в'язкість (якщо клеї у вихідному стані є рідиною);

- сумісність клею та склеюваних матеріалів.

У роботах видатних вчених, перераховуючи основні вимоги до клейового матеріалу, призначеного для отримання клеє-заклепувальних сполучень, автори вказують на те, що клей не повинен утворювати з металом гальванічну пару, оскільки в іншому випадку можливе утворення корозії. При створенні клеє-заклепувальних сполучень клей є практично єдиним засобом захисту внутрішньої поверхні деталей, що сполучаються від корозії і робить з'єднання герметичним.

Однак конкретних вимог до клею, в яких вказувалися значення його

адгезійної та когезійної міцності, величини відносного подовження, теплостійкості і т.д., стосовно клеє-заклепувальних сполучень в технічній літературі знайти не вдалося.

Для створення клеє-заклепувальних сполучень можуть

використовуватись різні клейові матеріали:

- епоксидні клеї гарячого та холодного затвердіння (ВК-39, ВК-40, ДПК-13-12, ДПК-133, ДПК-134, Д-9Г, К-10, ВК-9, ВК-37, ВГ-10, ВГ-200, ДПК-139, К-300, К-300-61, К-400, К-600, К-800, КДС-19, КДС-23 та ін);

- плівкові клеї (ВК-24, ВК-36, ВК-46, ВК-51, ВК-51А);

- фенолформальдегідні клеї (ВК-13, ВК-25, ВК-25А та ін.);

- анаеробні просочуючі клеї (Анагерм-1у, Анагерм-1, Анагерм-4, Анагерм-100, Анагерм-101, Анагерм-102, ПК-80 та інші анаеробні клеючі або

уцільнювальні матеріали).

Представлений вище перелік клеїв викликає багато питань, наприклад, якою є технологія застосування плівкових клеїв, адже в них потрібно робити отвори для встановлення заклепок і як при цьому зафіксувати плівковий клей на поверхні металу.

Клей ПК-80 взагалі не призначений для склеювання та рекомендований його виробниками [108] лише для герметизації поверхневих дефектів. Таку ж малу в'язкість мають і фенолоформальдегідні клеї.

Можливо, для якихось дуже вузьких областей застосування вище названий перелік клеїв дійсно може бути використаний, проте широкого поширення набули тільки клеї на основі епоксидних олігомерів, в першу чергу клеї марок ВК-27, ВК-37, ЦКМ і К-300-61, що пов'язано з їхньою високою міцністю та технологічністю. У промисловому виробництві використовуються клеї марок ВК-27 та ВК-37 при ремонті К-300-61.

Поряд з епоксидними клеями, також згадуються фенольні, проте при виконанні даної роботи не вдалося знайти жодного прикладу виробів, де б фенольні клеї використовувалися при створенні будь-яких клеє-механічних сполучень.

Найчастіше, при виборі клею для клеє-заклепувального з'єднання автори обмежуються лише його механічними властивостями. У той же час в'язкість епоксидних, фенольних і акрилових клеїв змінюється в дуже широкому діапазоні. Низьков'язкі клеї будуть витікати із заклепувального з'єднання і тим самим не тільки не збільшуватимуть міцність клеє-заклепувального з'єднання, але й істотно його забруднюватимуть.

В даний час все більшого поширення набувають клеї-розплави, які являють собою спеціальну плавку композицію, що не містить розчинників, на основі термопластичного полімеру, що володіє в розплавленому стані хорошими клеючими властивостями (табл. 1.1).

Таблиця 1.1.

Хімічний склад клеїв-розплавів

Компонент	Зміст	Призначення
Високомолекулярний полімер	20-50%	Основа клею. Забезпечує в'язкість розплаву та когезійну міцність клею у твердому стані.
Смола (синтетична чи природна)	25-60%	Для підвищення липкості та плинності та поліпшення змочує здатності
Синтетичний полімер	10-35%	Підвищує липкість, еластичність при нанесенні та міцність клейового з'єднання.
Антиоксидант	Менш ніж 1%	Забезпечує терміяну стійкість

При кімнатній температурі клей-розплав є твердою речовиною. При нагріванні компоненти клею-розплаву переходять з твердого стану рідкий стан. Рідка клейка маса заповнює всі пори та працює з різними матеріалами, тому що при кімнатній температурі знову твердне. Клейова маса в рідкому стані має гарну адгезію. При остиганні тонкий шар клею швидко переходить у твердий стан. При цьому виходить міцний клейовий шов. Температура склеювання, залежно від марки клею, може бути в межах 100 - 200°C [8, 43].

При створенні клеє-заклепувального сполучень клеї-розплави раніше не використовувалися, хоча автори багатьох робіт вказували на їхню винятково високу технологічність, що пов'язано з тим, що ці матеріали на відміну від будь-яких терморезактивних клеїв не затверджуються, а тверднуть. Таким чином, виключається найдовша технологічна операція.

При створенні клеє-заклепувальних сполучень особливі вимоги пред'являються до заклепок. Заклепування має на кінцях дві головки, одну з яких називають заставною і виконують на заготівлі заздалегідь (тобто до процесу заклепування), другу головку, яка називається замикаючою, формують безпосередньо в процесі заклепування. Заклепувальне з'єднання збирають шляхом встановлення заклепок в попередньо підготовлені отвори і подальшим осадом (клепкою) спеціальним інструментом замикаючої головки. Пробивання отворів може виконуватися і самою заклепкою. У процесі заклепування виробляють стяжку пакета і, за рахунок пружнопластичного поперечного деформування матеріалу заклепування, відбувається заповнення початкового

зазору між стрижнем і стінками отвору, що призводить до утворення натягу. Від натягу залежить як міцність заклепувального з'єднання, але його герметичність.

При виготовленні клеє-заклепувальних сполучень використовують різні конструкції заклепок (рис. 1.2.) і відповідно одержують різні види заклепувальних сполучень. Форма заклепок на вибір клею істотного впливу не надає. На рис. 1.2. представлені деякі види заклепок, що використовуються при процесах клеє-заклепування, насправді різноманітність заклепок дуже велика.

При прямому заклепуванні (рис. 1.3. (а)) заставну головку заводять у потиблиння підтримки і замикаюча головка утворюється обтисканням, при зворотному заклепуванні (рис. 1.3. (б)) удари наносяться по заставній головці, а замикаюча головка утворюється від зіткнення з підтримкою.

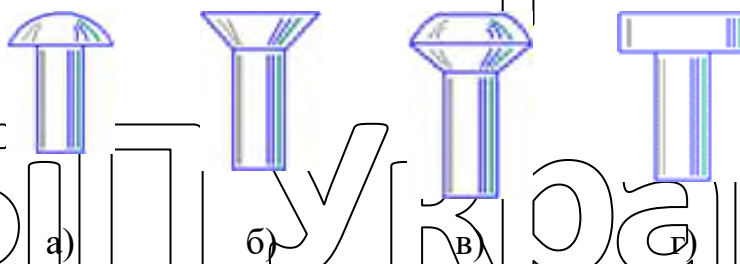


Рис. 1.2. Види заклепок:

а - напівкругла, б - потайна, в - напівпотаясна, г - плоска

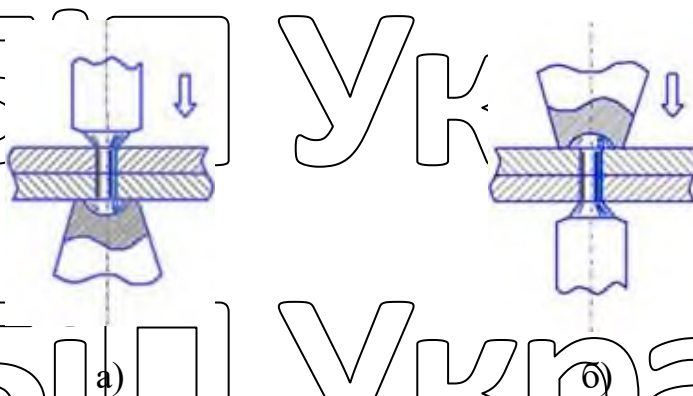


Рис. 1.3. Схеми двосторонньої заклепування:

а - пряма, б - зворотна

Заклепування при виробництві та ремонті автомобільних кузовів застосовуються в основному сліпі (їх також називають витяжними) або самопробивні (пресові) (рис. 1.4.)

Самопробивні заклепки у різних галузях промисловості застосовуються

приблизно з 1960-х років. Заклепки є трубчастим дизайном з частково порожнім валом. Така конструкція дозволяє заклепці прообразитися через шари пакета, що з'єднується без попереднього свердління або пробивання отворів.

Застосування даних заклепок є процесом з'єднання двох або більше листів в один пакет, за рахунок руху заклепування під тиском через верхні листи до

нижнього, деформуючи його і не виходячи з нього. Після пробивання верхньої панелі пакета заклепування радіально розширяться в нижній панелі. Технологія може з'єднувати стос алюмінієвих листів до 12 мм або стос сталевих листів до

6мм.

Така технологія дозволяє поєднувати різноманітні матеріали, а також матеріали, які були пофарбовані, покриті будь-чим або лаковані. Самопробивне заклепування можна використовувати у з'єднаннях, які включають перметики,

клеї чи ізоляцію. Також така технологія дозволяє з'єднати пакети із високоміцної сталі, оцинкованої сталі, алюмінію, пластмаси, такі матеріали як

нейлон та поліпропілен, а також композитів. Така різноманітність матеріалів, що з'єднуються, дозволяє даному виду заклепок бути затребуваним при виробництві автомобільних кузовів.

Завдяки тому, що процес заклепування не вимагає перфорування або попереднього свердління отворів, монтажники можуть заощадити загальний

виробничий час у порівнянні з іншими типами заклепок та інших деталей кріплення. Відсутність наскрізного отвору також дозволяє забезпечити більш

герметичне з'єднання.

Самопробивне (рис. 1.4., а) заклепування, як правило, зроблені з високоякісних сортів сталевого дроту, який був викутий, загартований і схильний до відпустки для забезпечення оптимальних робочих властивостей.

Вони можуть бути виготовлені з аустенітної або мартенситної нержавіючої сталі, міді або алюмінію для з'єднання м'яких сортів алюмінієвого матеріалу.

Для задоволення функціональних чи естетичних потреб передбачено велику різноманітність стилів головки заклепування.



Рис. 1.4. Зовнішній вигляд самопробивного (а) та сліпого (б) заклепування

Використання самопробивних заклепок дозволяє досягти швидкого і при цьому ефективного складання, низьких витрат та забезпечує високу продуктивність процесу заклепування. Ці заклепування також є відмінним рішенням при складанні, коли важлива естетична складова. Головка заклепування може бути піднята або врівень, а хвіст може мати виступ від 1 до 3 мм, залежно від розміру заклепування. Для встановлення самопробивних заклепок необхідно виконання двох основних умов: забезпечення доступу до обох сторін поверхонь, що з'єднуються, і наявність мінімальної площі поверхні необхідної для кріплення, залежно від розміру заклепок.

Основні конструктивні вимоги для заклепування самопробивними заклепками полягають у наступному:

- крихкий матеріал не повинен використовуватись для нижнього листа;
- по можливості нижній лист повинен бути в'язким з коефіцієнтом розтягування вище 12%;
- з'єднання повинно здійснюватися переважно спочатку через тонкі або м'які матеріали і далі товсті або тверді матеріали.

Однак, як правило, якщо з'єднання має бути отримана через товстий шар і потім тонкий шар, це може бути зроблено, якщо нижній лист становить приблизно одну третину від загальної товщини стику.

Переваги процесу використання таких заклепок: економія часу за рахунок відсутності операції свердління та забезпечення сильної, стійкої сполучення.

Процес вилучення даних заклепок з'єднання є унікальним самим собою і

здійснюється з використанням спеціального обладнання. Це можуть бути зварювальні агрегати, принцип дії яких полягає в контактному приварюванні головки заклепування з подальшим витягуванням, а також спеціальні пістолети, конструктивно виготовлені під вилучення заклепок. Якщо ж використання цих засобів не можливе, то заклепування просто висвердлюють.

Сліпі (рис. 1.4. (б), 1.5.) заклепування зручні тим, що дозволяють отримувати нероз'ємні з'єднання навіть у тому випадку, коли доступ до місця з'єднання можливий лише з одного боку. Складається таке заклепування з корпусу, всередині якого розташовується сердечник, який при встановленні

заклепування деформує кінець заклепки в сліпу головку. Схема сліпого заклепування наведено рис. 1.5.

Сліпе заклепування було винайдено наприкінці 1930-х років інженерами Карлом Черрі та Луїсом Гекком, які шукали шляхи для прискорення виробництва літаків.

З моменту винаходу конструкція заклепування мало змінилася. Основними робочими характеристиками такого заклепування є: 1 - граничне розтягуюче навантаження; 2 - граничне зрізаюче навантаження; 3 - зусилля встановлення заклепування; 4 - розривне навантаження сердечника; 5 - стягуюча здатність; 6 - стискаюче зусилля; 7 - залишкове навантаження; 8 - опір сердечника вищтовхуванню; 9 - герметичність; 10 - здатність заповнювати отвір.

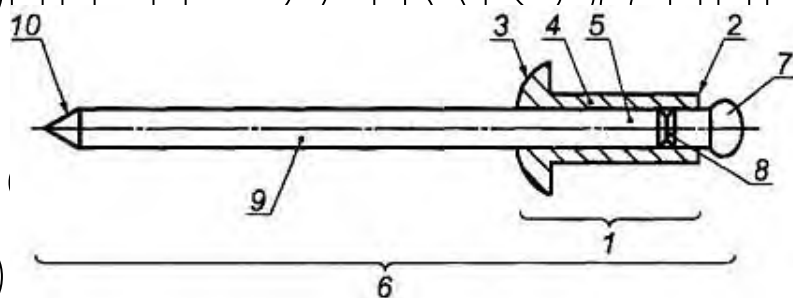


Рис. 1.5. Схема сліпого заклепування:

1 - корпус; 2 - кінець заклепування; 3 - головка; 4 - стрижень; 5 - сердцевина; 6 - сердечник; 7 - головка сердечника; 8 - зона відриву сердечника; 9 - хвостовик сердечника; 10 - кінець сердечника

Відповідно сліпі заклепування класифікуються за:

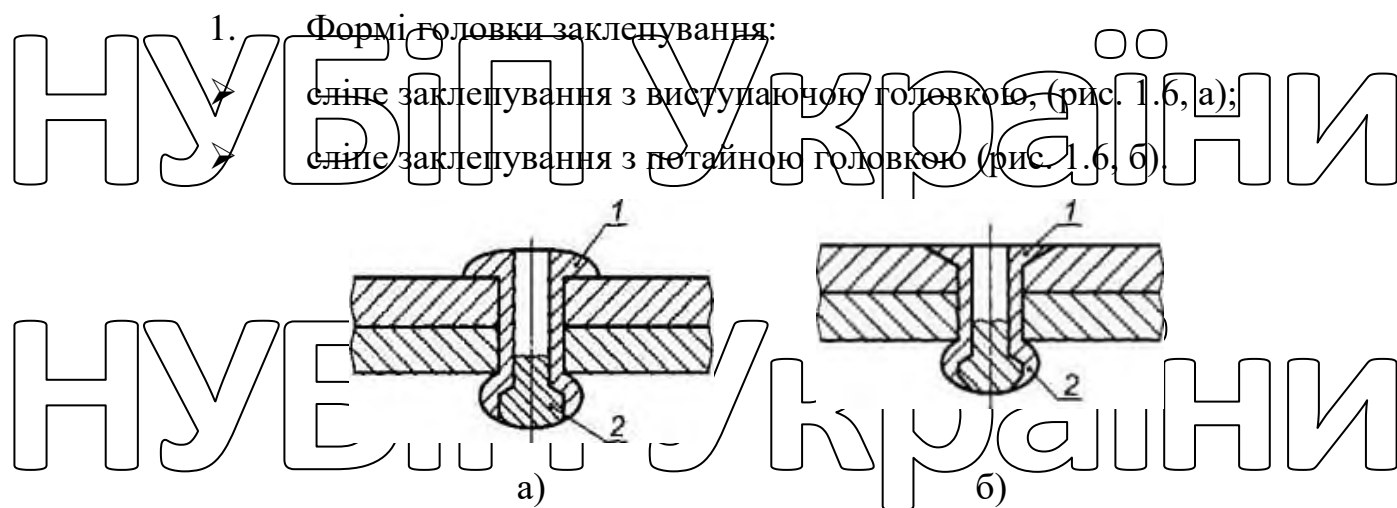


Рис. 1.6. Форма головки сліпого заклепування:

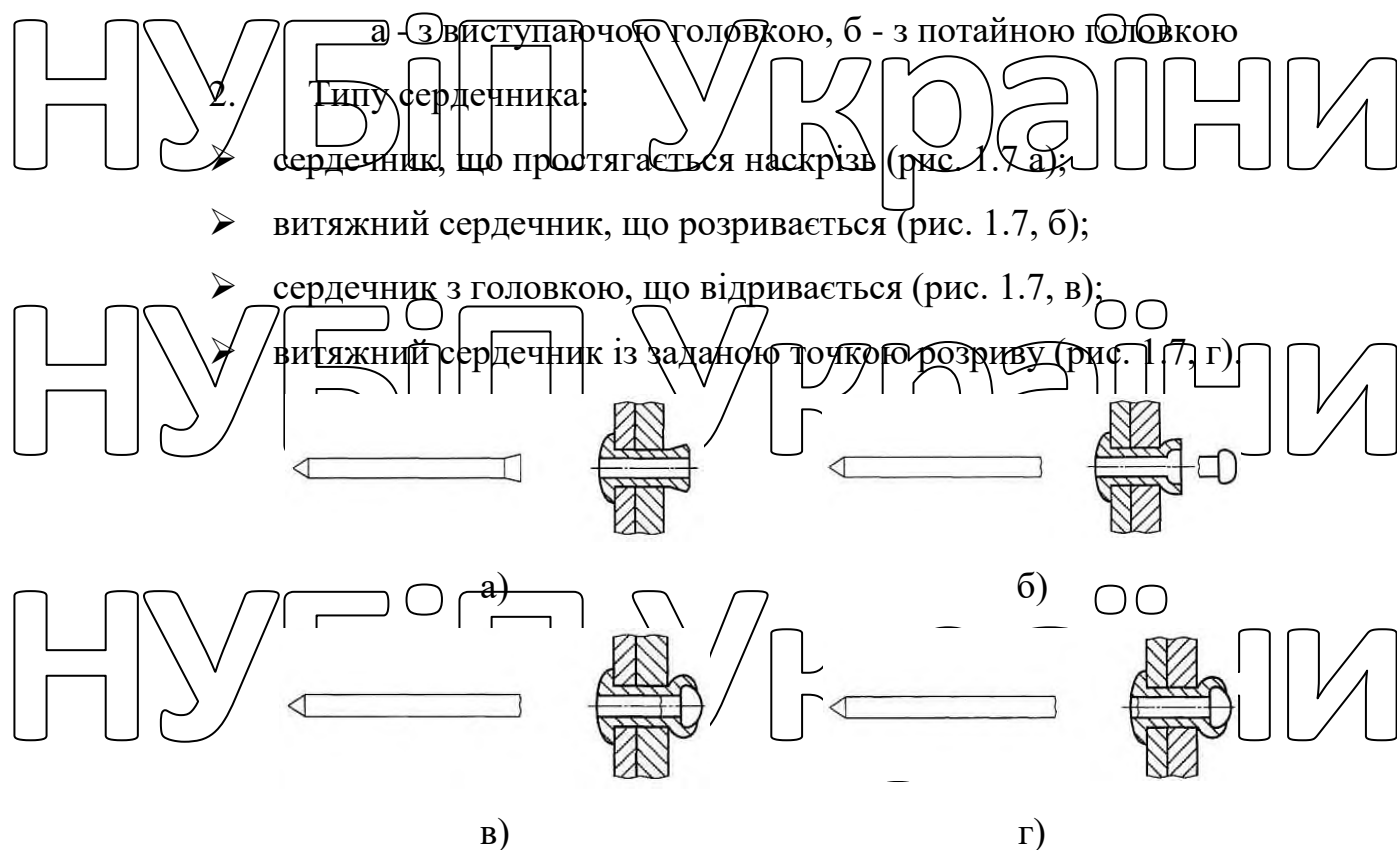
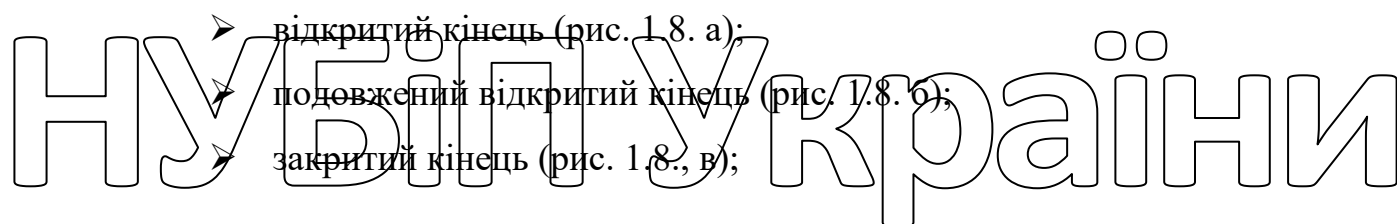


Рис. 1.7. Тип сердечника сліпого заклепування:

а - протягується на крізь, б - витяжний сердечник, що розривається, в - з головою, що відривається, г - витяжний сердечник з заданою точкою розриву

3. **Типу стрижнів заклепок:**



кінцевий кінець, що розділяється (рис. 1.8., г).
 Вибір типу стрижня та заклепування для клеє-заклепувального з'єднання раніше не проводився, що багато в чому і стало причиною відсутності обґрунтованих рекомендацій для проведення технології клеє-заклепування при ремонті автомобільних кузовів. Технологія авторемонтного виробництва має свою специфіку, яка в першу чергу пов'язана з величезною номенклатурою деталей та їх відносно низькою якістю. Ця низька якість виражається в порушенні вимог до взаємного розташування з'єднувальних поверхонь, наявність на них слідів корозійних пошкоджень і т.д.

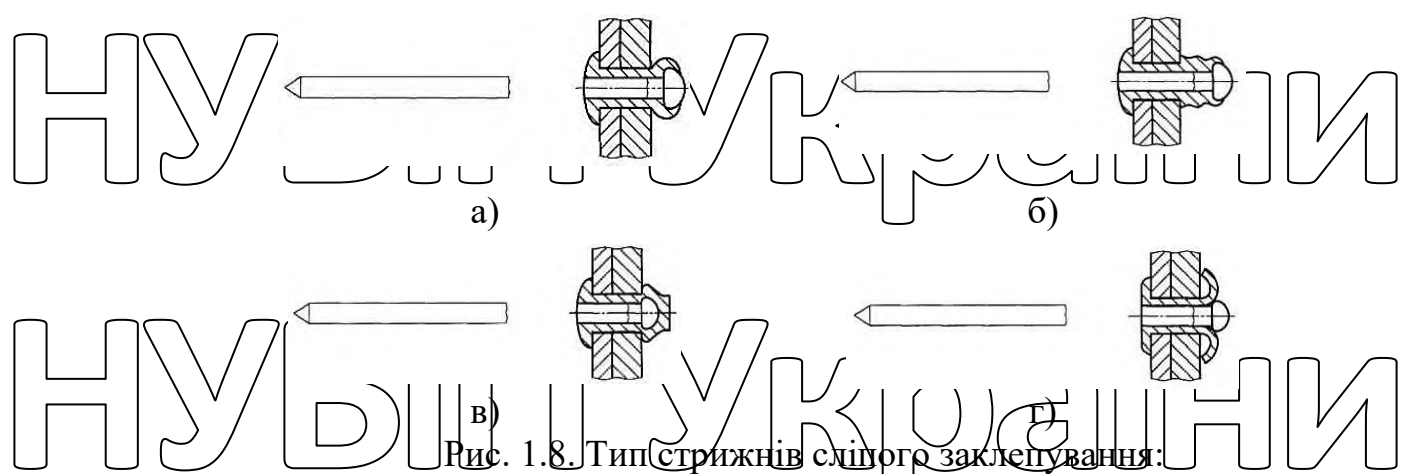


Рис. 1.8. Типи стрижнів сліпого заклепування:

а - відкритий кінець, б - подовжений відкритий кінець, в - закритий

кінцевий, г - кінець, що розділяється

Використання клеє-заклепувальної технології дозволить частково вирішити ці проблеми, оскільки за рахунок клею можна вибрати зайвий зазор між з'єднувальними поверхнями. Для клеє-зварного з'єднання застосовувалися рідкі епоксидні клеї, а як наповнювач використовувався нітрид бору, тоді як для клеє-заклепувальної технології пропонується застосовувати клеї-розплави, в які ввести наповнювач в умовах ремонтного виробництва утруднене, оскільки це вимагає використання спеціальних екструдерів.

1.4. Особливості розрахунку заклепувальних та клеє-заклепувальних сполучень

Вчені пропонують проводити розрахунок заклепувальних сполучень лише на підставі оцінки зовнішньої сили, яка залежить від площі перерізу

заклепок та коефіцієнта тертя. Однак, оскільки установка заклепок в отвір проводиться без натягу, то завжди мають місце зазори, що надає визначальний вплив на міцність одержуваних сполучень, але в розрахунках не враховується.

Як правило, автори обмежувалися лише найпростішим рівнянням визначення сили холодної заклепування

$$P = kd^{1,75} \sigma_v^{0,75}, \quad (1.1.)$$

де k - коефіцієнт форми замикаючої головки заклепування (табл. 1.2),

d - діаметр заклепування;

σ_v - межа міцності матеріалу заклепування на розтяг.

Таблиця 1.2.

Значення коефіцієнта форми замикаючої головки заклепки k

Форма головки	k
Сферична	28,6
Потайна	26,2
Плоска	15,2

Рівняння (1.1.), як і дані, наведені в табл. 1.2 є досить умовними, оскільки в них не враховані матеріали заклепок та геометричні характеристики заклепок та пакета, що склепується.

При клеє-заклепуванні виробів з ПКМ сила заклепування на 20...30% менше, ніж при клеє-заклепуванні металевих конструкцій. Сила стиснення листів становить 10...15 % від сили необхідної освіти замикаючої головки.

Загальна довжина заклепки, необхідна для з'єднання пакета, визначається з виразу.

$$L = S + l_3, \quad (1.2.)$$

$$l_3 \approx 1,3d \quad (1.3.)$$

де S - сумарна товщина пакета з'єднувальних деталей;

l_3 - припуск на замикаючу головку;

d - діаметр заклепування.

Збільшення довжини заклепування проти оптимальної, викликає згинання стрижня при формуванні замикаючої головки. При укороченій довжині

заклепок формуються головки замикання меншого розміру, що призводить до зменшення довговічності роботи з'єднання.

Традиційно, при виборі клею для клеє-заклепувального сполучення, міцність оцінювалася експериментальними методами шляхом порівняння заклепкових та клеє-заклепувальних сполучень за різних статичних та динамічних умов. Наводяться дані за величиною руйнівного навантаження заклепувальних та клеє-заклепувальних сполучень для алюмінієвого сплаву марки АМг6 (табл. 1.3.), виконаних на клеї ЕПК-1. Цей клей також відноситься до класу епоксидних матеріалів.

Таблиця 1.3.

Руйнівна напруга на зріз для заклепувальних та клеє-заклепувальних сполучень різної товщини

Товщини заклепувальних деталей, мм	Тип з'єднання	
	заклепувальне	клеє-заклепувальне
1+1	255	530
1,5+1,5	380	680
2+1	510	760
1+2	260	520

Як видно з наведених даних, міцність клеє-заклепувальних з'єднань для всіх зразків вище, ніж заклепувальних. Ще більший ефект від використання клеїв досягається в тому випадку, якщо оцінювати довговічність при динамічних навантаженнях, у тому числі при знакозмінних.

Істотно більшу увагу у технічній літературі приділено питанням розрахунку клейових сполучень. У роботах запропоновано рівняння для розрахунку максимальної напруги при різних видах напружено-деформованого стану клейових сполучень, наприклад, для визначення максимальної руйнівної напруги τ_{max} при зрушенні

$$\tau_{max} = \tau_{cp} \nu \frac{l}{thv} \quad (1.4.)$$

$$\tau_{cp} = \frac{P}{bl}$$

$$a^2 = \frac{G}{E_2 h_2 h_3} \left(1 + \frac{E_2 h_2}{E_1 h_1} \right) \frac{al}{2}$$

де P - руйнівне навантаження;

b - ширина клейового з'єднання;

l - довжина клейового з'єднання;

E_1, E_2 - модулі пружності двох склеюваних матеріалів;

G - модуль зсуву клею.

Для визначення величини максимальної напруги в клейовому шві при стисканні, цими ж авторами пропонується наступне рівняння

$$\tau_{max} = \tau_{cp} \alpha h_1 \alpha l, \quad (1.5.)$$

Значення максимальної напруги, визначені з використанням рівнянь (1.4.)

і (1.5.), залежать від вихідних даних, що використовуються. Складнощі з

визначенням геометричних розмірів клейових сполучень не виникає, тоді як

при встановленні величини модуля клею можна використовувати два підходи:

як зразки використовувати брусок клею або клейових сполучень. Наведено дані

за значеннями модуля пружності, визначені для клейового матеріалу в блоці та

безпосередньо в клейовому з'єднанні при різних вмістах наповнювача (табл.

1.4). З даних видно, що значення модуля пружності істотно залежить від типу

зразків щодо випробувань.

Таблиця 1.4.

Модулі пружності клеїв, визначені для різних типів з'єднань [67]

Марка клею	Тип зразка	
	Брусок	Клейове з'єднання
	Модуль пружності, МПа	
ЦМК-3	1650	980
ВК-27	2370	1200

У міру вдосконалення розрахункових моделей дані рівняння уточнювалися та доповнювалися.

В роботі також запропоновано ряд аналітичних моделей, що дозволяють оцінити величину максимальної напруги та їх розподіл по довжині клейового

шва, однак вони отримані для композиційних матеріалів і не можуть бути використані для клейових сполучень.

Одним з найбільш поширених типів клеє-механічних сполучень є клеє-різбові сполучення.

В даний час полімерні композиційні матеріали набули найширшого поширення і для них розроблено безліч розрахункових методів, у тому числі і аналітичних моделей. Дуже багато деталей з композитів мають у своєму складі металеві елементи, наприклад, фланці трубопроводів. Такі деталі можна умовно

розглядати як клеє-механічні, оскільки в них є всі типові елементи: клейовий

шов, металева деталь та деталь із композиту. Таким чином, у науковій літературі дуже мало уваги приділено методикам розрахунку клеє-механічних сполучень та практично відсутні роботи з методики оцінки напружено-деформованого стану клеє-заклепувальних сполучень.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНОК ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ КЛЕС-ЗАКЛЕПУВАЛЬНОГО СПОЛУЧЕННЯ

2.1. Розрахунок клес-заклепувальної сполучення

Розрахунок клес-заклепувального сполучення проводять аналогічно до розрахунків групових різьбових з'єднань. Оскільки заміна базової (заклепувальної) технології на нову (клес-заклепувальну) проводиться для вже існуючих конструкцій, проведемо тільки перевірочні розрахунки, при яких розміри всіх з'єднуючих деталей, і матеріали, з яких вони виготовлені вже задані.

Умова рівноваги для заклепок, встановлених з напругом, має вигляд

$$F \in S k \sigma_p + S \tau_{зр} \quad (2.1)$$

де F - зовнішнє навантаження, що припадає на одну заклепування;

S - площа поперечного перерізу заклепки;

k - коефіцієнт тертя між з'єднуючими деталями;

$\tau_{зр}$ - напруги зрізу;

σ_p - розтягуючі напруги в поперечному перерізі заклепки.

Рівняння (2.1.) є дуже наближеним, оскільки точне розв'язання задачі розрахунку навіть однієї заклепки є складним. Однак навіть при такому спрощенні визначити величину розтягуючих напруг в тілі однієї заклепки практично неможливо, так само, як складно визначити значення коефіцієнта тертя.

Розрахунки заклепок проводять на зріз (2.2.), змицання (2.3.) та розтягування (2.4.)

$$\tau_{зр} = \frac{F}{S_i} \leq [\tau_{зр}], \quad (2.2.)$$

$$\sigma_{зм} = \frac{F}{\delta d} \leq [\sigma_{зм}], \quad (2.3.)$$

$$\sigma_p = \frac{F}{\delta(b-nd)} \leq [\sigma_p], \quad (2.4.)$$

де δ - найменша товщина заклепувальних деталей;

b - ширина заклепувальних деталей;

d - діаметр стрижня заклепки;

i - число площин зрізу в з'єднанні (для однозрізних з'єднань $i = n$);

n - число заклепок;

$[\tau_{зр}]$ - допустима напруга заклепок на зріз;

$[\sigma_{зм}]$ - допустима напруга заклепок на зминання;

$[\sigma_p]$ - допустима напруга на розтяг.

Напруги, що виникають у заклепувальному з'єднанні, залежать від допусків, з якими встановлюється заклепка. Якщо заклепка встановлюється із зазором (рис. 2.1. б), то в цьому випадку стрижень заклепки не бере участі в роботі, оскільки на нього безпосередньо навантаження не передається. Якщо заклепка встановлюється з натягом (рис. 2.1. а), то в цьому випадку, стрижень заклепки (з діаметром d) бере участь у роботі.

При встановленні заклепки із зазором, при деформації однорядного заклепувального з'єднання, має місце вигин стрижня заклепки (рис. 2.2., б) і чим більша довжина стрижня заклепки і м'якше матеріал з якого вона виготовлена, тим більша його деформація. При встановленні заклепок з натягом, стрижень заклепки також може деформуватися, проте для цього мають бути значно більші зовнішні навантаження.

Діаметр стрижня заклепок d визначають за рівняннями 2.5. або 2.6.

$$d = \delta(1,8 \dots 2,5), \quad (2.5.)$$

$$d = 2\sqrt{\delta}, \quad (2.6.)$$

Крок між заклепками t (рис. 2.3.) дуже сильно залежить від діаметра стрижня заклепки й у однорядному з'єднанні, зазвичай, дорівнює

$$t = 3d, \quad (2.7.)$$

Ще одним нормуючим параметром, є величина l (див. рис. 2.3.), яка визначає відстань від осі заклепки до краю листа.

$$l = d(1,5 \dots 2), \quad (2.8.)$$

Вибір параметрів t і l визначається поряд з технологічністю умовами щільного дотику листів.

Необхідну кількість заклепок визначають за умовою міцності з'єднання



Рис. 2.1. Схема заклепувального з'єднання при встановленні заклепок з

натягом (а) та із зазором (б)

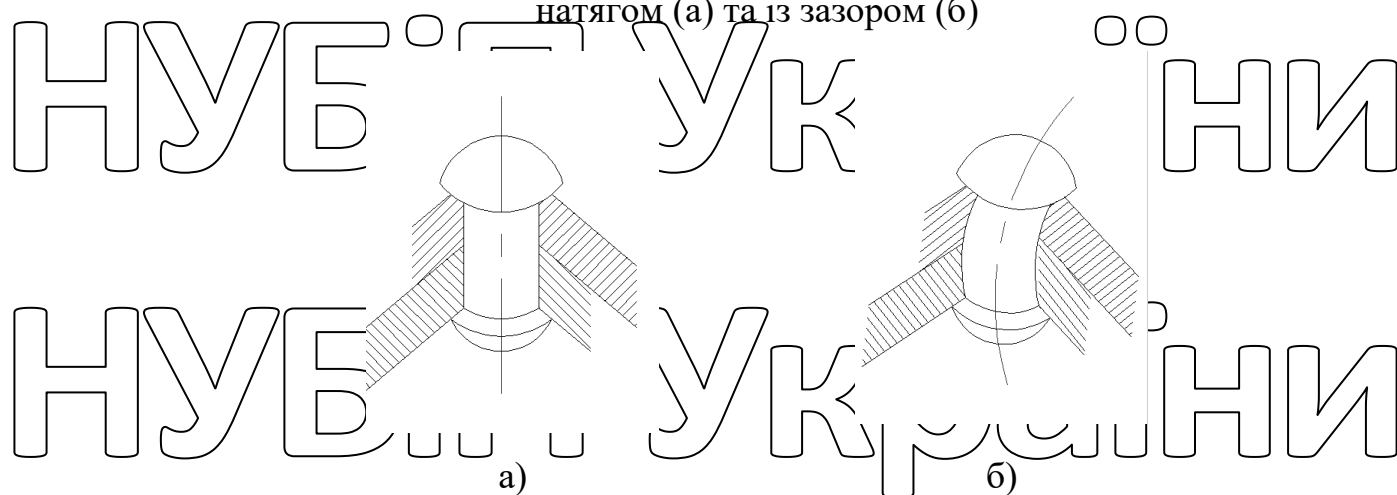


Рис. 2.2. Заклепувальне з'єднання до (а) і після (б) навантаження

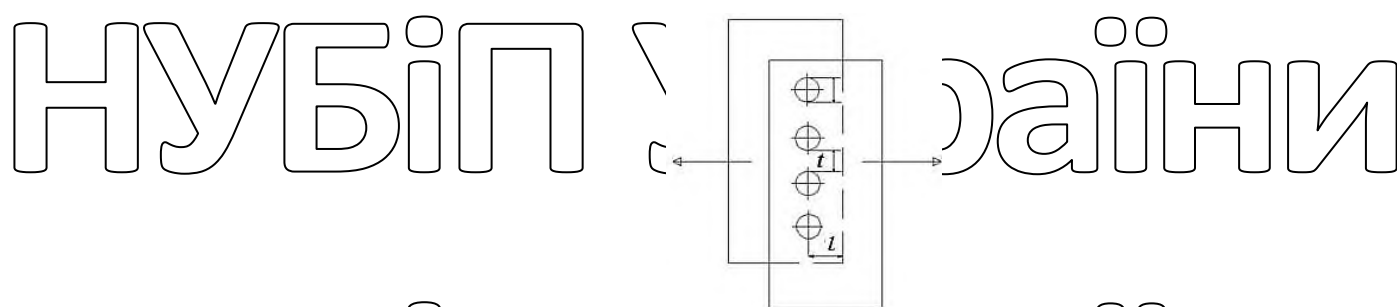


Рис. 2.3. Схема однорядного заклепувального з'єднання із зазначенням кроку t між заклепками та відстанню l від осі заклепки до краю листа

Якщо заклепувальна сполука навантажена силою, яка перпендикулярна площині стику (рис. 2.4., а), то критерієм його працездатності є відсутність «розкриття» елементів, що з'єднуються, аналогічно фланцям. Для стрижня заклепки і деталей, що з'єднуються при такій схемі навантаження, вводяться коефіцієнти податливості λ , так само, як це використовується при розрахунках

фланців [57]

$$\lambda_3 = \frac{l_3}{E_3 S_3}, \quad (2.10.)$$

$$\lambda_d = \frac{l_d}{E_d S_d}, \quad (2.11.)$$

$$\chi = \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_3}, \quad (2.12.)$$

$$\chi F \lambda_3 = (1 - \chi) F \lambda_d, \quad (2.13.)$$

де λ_3, λ_d - коефіцієнти податливості заклепування деталей;

E_3 і E_d - модулі матеріалів, з яких виготовлені заклепки та відповідні

деталі;

χ - коефіцієнт основного навантаження, що враховує розподіл зовнішньої відриваючої сили F , між заклепкою і деталями.

З рівняння (2.13.) випливає важливий практичний висновок, який полягає

в тому, що для зниження додаткової сили на стрижень заклепки, що призводить

до його деформації, необхідно знизити коефіцієнт основного навантаження χ .

При одному і тому ж зовнішньому навантаженні, цього можна досягти шляхом

екструзії стрижня заклепки і заклепувальних поверхонь. Це забезпечить

спільну деформацію стрижня заклепки і заклепувальних деталей, яка

відбуватиметься в межах їх пружних властивостей.

Для заклепувальної сполуки найбільш характерними є навантаження, при

яких сила прикладена паралельно площині стику (рис. 2.4, б). У цьому випадку

в тілі заклепки виникають напруги зрізу $\tau_{зр}$, а в з'єднаних деталях у місцях їх

контакту зі стрижнем заклепки виникають напруги зминання $\sigma_{зм}$.

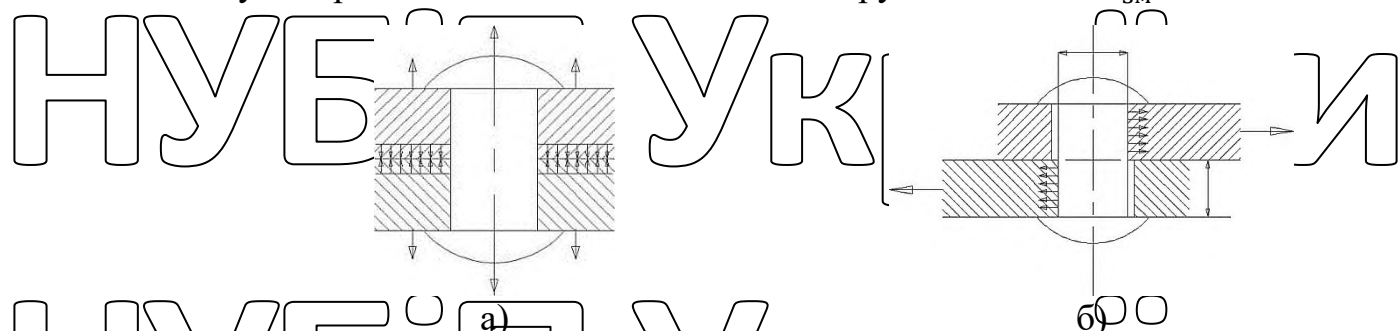


Рис. 2.4. Розрахункова схема нахлесточного однорядного заклепувального з'єднання, навантажене силами перпендикулярно (а) і

паралельно (б) площині стику

При такій схемі навантаження передається тертям і при розрахунках використовується рівняння (2.1.), яке справедливе при наступних припущеннях:

1. Сила тертя постійна в будь-якій точці сполучаючого контакту заклепки і деталей;
2. Стрижень заклепки бере участь у передачі навантаження;
3. Зовнішнє навантаження передається від однієї заклепки до іншої;
4. Тиск, що передається на стрижень заклепки від з'єднаних деталей, розподіляється рівномірно по всій площині перерізу заклепки.

Розглянемо поспідовно всі ці припущення.

Допущення № 1 стосується сталості сили тертя. Якість поверхонь з'єднувальних деталей, характеризується показниками шорсткості (рис. 2.5., а) і

хвилястості (рис. 2.5., б), вплив яких зводиться до того, що кількість безпосередніх контактів двох склепаних поверхонь становить не більше 10% від фактичної площі. Таким чином, навіть у тих місцях, де є контакт, значення коефіцієнта тертя різні, оскільки різні характеристики опорних з'єднувальних поверхонь. У тих місцях, де безпосереднього контакту немає, а це більша частина площі, відсутнє якое тертя.

У припущенні №2 йдеться про участь стрижня заклепки у процесі передачі навантаження. Це припущення можна здійснити тільки в тих випадках, коли заклепки встановлюються в отвір з натягом. Така технологія збирання можлива, але вона не технологічна і вимагає великих тимчасових витрат та спеціального оснащення.

Припущення № 3 не виконується за жодних умов, оскільки через хвилястість і шорсткість заклепувальних поверхонь, між ними відсутній безпосередній контакт. Через це всі заклепки навантажені нерівномірно, більша частина навантаження припадає на найближче до місця застосування

навантаження заклепування. Після того, як вона руйнується, все навантаження відразу ж передається на наступну в цьому ряду заклепування і т.д.

Припущення № 4, як і й інші, неможливо, оскільки тиск на стрижень заклепки не розподіляється рівномірно і відповідно також нерівномірно воно перерозподіляється по всій площі поперечного перерізу.

Використання клеє-заклепувальної технології дозволяє зробити справедливими (частково або повністю) всі чотири припущення. Розглянемо послідовно вплив кожного з них на методику розрахунку клеє-заклепувального сполучення.

2.2. Вплив хвилястості поверхонь заклепувальних деталей, на характеристики якості клеє-заклепувального з'єднання.

Основними реологічними характеристиками клею-розплаву у процесі його нанесення є:

- поверхневий натяг і крайовий кут змочування, що залежить від нього;
- в'язкість.

При нанесенні будь-якого рідкого матеріалу (у тому числі і клею) на плоску поверхню він розтікається по ній з утворенням кута, який отримав назву крайовий кут змочування θ (рис. 2.6.). При значеннях крайового кута змочування $\theta > 90^\circ$ рідина поверхнею мимовільно не розтікається, тобто.

поверхню даною рідиною не змочується, а при $\theta < 90^\circ$, навпаки, має місце розтікання. При повному розтіканні значення крайового кута змочування рівні 0. Значення крайового кута змочування (його прийнято позначати через $\cos\theta$)

залежать від температури T і часу t .

$$\cos\theta = f(T, t), \quad (2.14.)$$

Рівняння (2.14.) справедливе лише для термоактивних клеїв, які у процесі розтікання можуть досягати своїх рівноважних значень.

Звичайні клейові матеріали, наприклад, епоксидні, розтікаються гладкою поверхнею (рис. 2.6., б). Величина поверхневого натягу визначається сумою поверхневих натягів системи: тверде тіло, рідина та газ. Відповідно до рівняння Юнга для точки контакту всіх трьох фаз справедливе рівняння:

$$\gamma_{ГТ} - \gamma_{ТГ} - \gamma_{ГР} \cos\theta = 0, \quad (2.15.)$$

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{ГТ} - \gamma_{ГР}}{\gamma_{ГР}}, \quad (2.16.)$$

де $\gamma_{ГТ}$ - поверхневий натяг на межі розділу газ-тверде тіло;

$\gamma_{ГР}$ - поверхневий натяг на межі розділу газ-рідина;

$\gamma_{ГР}$ - поверхневий натяг на межі розділу тверде тіло-рідина.

Для епоксидних клеїв значення всіх трьох складових поверхневого натягу приблизно рівні, що схематично показано на рис. 2.6., б. При цьому умови змочування мають місце поступового розтікання рідкого клею по гладкій твердій поверхні і при $t \rightarrow \infty$ тобто, крайовий кут змочування дорівнює нулю, а

$\cos\theta = 1$. Рівняння (2.15.) при цій умові має вигляд

$$\frac{\gamma_{ГТ} - \gamma_{ГР}}{\gamma_{ГР}} = 1, \quad (2.17.)$$

$$\gamma_{ГТ} = \gamma_{ГР} + \gamma_{ГР}, \quad (2.18.)$$

У разі змочування, величина поверхневого натягу межі розділу рідини - тверде тіло, зазвичай, нехтують [24].

На шорсткій поверхні співвідношення поверхневих натягів на межах розділу фаз змінюється. Характеристики шорсткості поверхонь залежать від виду та режимів використовуваної механічної обробки та властивостей матеріалу і змінюються в діапазоні від часток мікрметра до кількох міліметрів.

Характеристики шорсткості (R_a і R_z) наведені у великій кількості довідників та існують стандартні методи їх оцінки. На відміну від шорсткості, характеристики хвилястості в довідниках не вказуються, хоча вони не менш впливають на якість. Особливо велике значення хвилястості при використанні технологій клепки або клеє-заклепування.

На шорстких і хвилястих поверхнях має місце збільшення площі контакту з твердим тілом, за рахунок збільшення фактичної площі і чим вище шорсткість, тим більше збільшується площа контакту рідини з твердою поверхнею. Це збільшення площі враховують шляхом використання

спеціального коефіцієнта k , який так і названий - коефіцієнт збільшення площі

$$\gamma_{ГТ} = k \cdot \gamma_{ГТ}, \quad (2.19.)$$

$$\gamma_{\text{ГР}} = k \cdot \gamma_{\text{ГР}}, \quad (2.20.)$$

З урахуванням (2.19.) та (2.20.) рівняння (2.16.) має вигляд

$$\cos\theta_{\text{ш}} = k \cdot \frac{\gamma_{\text{ГТ}} - \gamma_{\text{ГР}}}{\gamma_{\text{ГР}}}, \quad (2.21.)$$

або

$$\cos\theta_{\text{ш}} = k \cdot \cos\theta, \quad (2.22.)$$

де $\theta_{\text{ш}}$ – крайовий кут змочування з урахуванням шорсткості поверхні.
За умови, що величина крайового кута змочування $\theta < 90^\circ$, $\cos\theta_{\text{ш}} >$

$\cos\theta$, тобто, $\theta_{\text{ш}} < \theta$.

Рівняння (2.17.) та (2.18.) для клеїв-розплавів не виконуються. Ці клеї по гладкій поверхні розтікаються гірше і погано змочують поверхню, що впливає на величину поверхневого натягу на межі розділу тверде тіло. Значення $\gamma_{\text{ГР}}$ для клеїв-розплавів набагато вище, ніж для звичайних рідких клейових матеріалів.

Для клею-розплаву при його розтіканні по шорсткій поверхні співвідношення поверхневих натягів на межах розділу фаз також змінюється (рис. 2.6, б). Однак має місце зменшення площі контакту з твердим тілом, за рахунок того, що клей не розтікається по западинах, а повисає над ними.

Зменшення площі фактичного контакту також пропонується враховувати шляхом використання коефіцієнта k^* , який названо – коефіцієнт зменшення площі. За умови, що величина крайового кута змочування $\theta > 90^\circ$, $\cos\theta_{\text{ш}} <$

$\cos\theta$ тобто, $\theta_{\text{ш}} > \theta$.



Рис. 2.5. Крапля рідини на твердій поверхні при значеннях крайового кута змочування (а) та $\theta > 90^\circ$ (б) $\theta < 90^\circ$

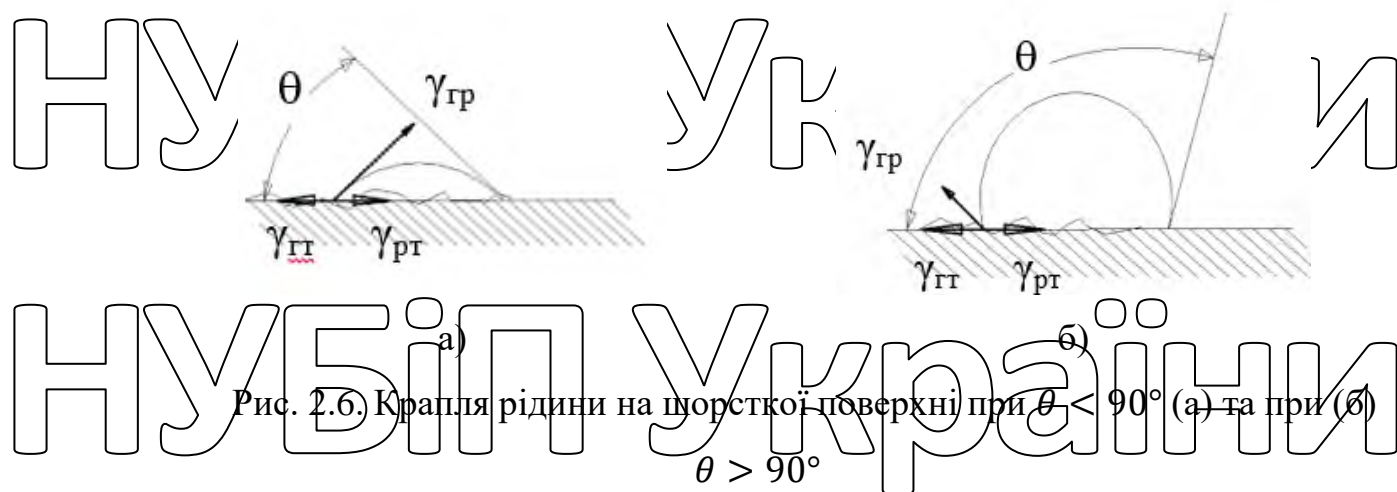


Рис. 2.6. Крапля рідини на шорсткій поверхні при $\theta < 90^\circ$ (а) та при $\theta > 90^\circ$ (б)

Змочування – це перший етап процесу нанесення клею. Наступним етапом є його мимовільне розтікання. Характеристикою розтікання є коефіцієнт K , рівний відношенню вихідного діаметра краплі d_0 до остаточного d .

$$K = \frac{d_0}{d}, \quad (2.23.)$$

Рівняння (2.23) не дозволяє врахувати вплив шорсткості поверхні. Щоб це зробити, необхідно замість характеристики діаметра використати показник площі S .

$$K = \frac{S_0}{S}, \quad (2.24.)$$

Зміна площі розтікання клею-розплаву за одиницю часу визначає швидкість v

$$v = \frac{dS}{dt}, \quad (2.25.)$$

На краплю рідини, що знаходиться на твердій поверхні, одночасно діють дві протилежні сили. Одна характеризує вільну енергію системи та сприяє мимовільному розтіканню F_E , друга, навпаки, перешкоджає розтіканню і залежить від в'язкості F_η .

$$F_E = 2\pi r E, \quad (2.26.)$$

$$F_\eta = -\pi r^2 \eta \frac{dv}{dh}, \quad (2.27.)$$

де E – вільна енергія системи;

r – радіус краплі рідини на твердій поверхні;

v – швидкість розтікання;

h - висота краплі рідини на твердій поверхні.

Сили дії F_E та протидії F_η процесу розтікання рівні і тому можна записати

$$2\pi r E = -\pi r^2 \eta \frac{dv}{dh} \quad (2.28.)$$

$$\frac{dv}{dh} = -\frac{2E}{r\eta}, \quad (2.29.)$$

Рішення рівняння (2.29.) відносно h дуже істотною мірою залежить від форми краплі і тому використовувати характеристику висоти краплі h для розрахунків не дуже зручно, оскільки відсутні методи її експериментального

визначення. Перепишемо рівняння (2.28.), використовуючи характеристики

площі S , яку займає крання клею на поверхні металу

$$r dv = -\frac{2}{\eta} E dh, \quad (2.30.)$$

$$r \frac{dr}{dt} = \frac{d(\pi r^2)}{2\pi \cdot dt} = -\frac{2}{\eta} \int E dh, \quad (2.31.)$$

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{4\pi}{\eta} \int E dh, \quad (2.32.)$$

$$\frac{dS}{d\tau} = -\frac{4\pi}{\eta} \int E dh. \quad (2.33.)$$

При розтіканні краплі її обсяг не змінюється $V_0 = const$ та $dV_0 = 0$

$$V_0 = \frac{1}{6} \pi (3r^2 h + h^3) = 0, \quad (2.34.)$$

Вирішуємо рівняння (2.34.)

$$6r h dr + 3r^2 dh + 3h^2 dh = 0, \quad (2.35.)$$

$$2r h dr = -(r^2 + h^2) dh, \quad (2.36.)$$

$$\frac{dr}{dh} = \frac{r^2 + h^2}{rh}, \quad (2.37.)$$

$$E = \frac{dv}{2dr} (r^2 + h^2), \quad (2.38.)$$

$$\frac{dv}{dr} = \frac{dv}{dt} \cdot \frac{1}{\frac{dr}{dt}} = \frac{dv}{dt} \frac{1}{v} = \frac{d \ln v}{dt}, \quad (2.39.)$$

$$E = -(r^2 + h^2) \frac{d \ln v}{dt}, \quad (2.40.)$$

$$\ln v = -\int \frac{E}{r^2 + h^2} dt, \quad (2.41.)$$

Рівняння (2.41.) дозволяє визначити швидкість розтікання краплі.

Відмінною особливістю технології нанесення клеїв розплавів, що належать до

класу термопластичних полімерів, є дуже висока в'язкість. Процес розтікання в'язких рідин характеризується не тільки зсувною в'язкістю η , але і подовжньою в'язкістю λ .

$$\lambda = 3\eta \quad (2.42.)$$

Залежність (2.42.) відома як формула Трутона [95]. При температурі течії T_T в момент зіткнення клею-розплаву з металевою поверхнею, яка має кімнатну температуру, відбувається практично миттєве охолодження тієї частини клею, яка безпосередньо контактує з металом.

Як основний технологічний параметр, за допомогою якого можна керувати величинами поверхневого натягу і в'язкістю, є температура. Величини dy/dT та $d\eta/dT$ є тепловими коефіцієнтами поверхневого натягу і в'язкості. При підвищенні температури поверхневий натяг і в'язкість знижуються і відповідно зменшується значення крайового кута змочування.

2.3. Алгоритм формування конструкторсько-технологічного рішення в умовах автосервісного підприємства

При розробці клеє-заклепувальної технології для автосервісного підприємства передбачається, що вже є оптимальне конструкторське рішення, при якому однозначно визначено всі параметри з'єднань та допустимі межі їх змін. На рис. 2.9. представлений алгоритм знаходження конструкторського рішення, суть якого полягає у визначенні марок матеріалів та всіх геометричних характеристик клепаного з'єднання для найпростішого однорядного з'єднання, елемент якого показаний на рис. 2.3. Символами σ_1 , σ_2 , σ_3 і σ_4 - позначені відповідні розв'язувані задачі напруги, наприклад, σ_1 - це напруги в заклепковому з'єднанні для обраного типу заклепок, використовуюваного матеріалу при даних геометричних характеристиках заклепки. Далі, у міру конкретизації заклепувального (або клеє-заклепувального з'єднання), ці напруги розраховуються з урахуванням відстаней (l) від краю з'єднання σ_2 . Починаючи з величини σ_3 напруги розраховуються вже не для клепаного, а для клеє-заклепувального з'єднання в

залежності від типу обраного клею σ_3 і кроку між заклепками σ_4 . Символами $\sigma_{зад}^1$, $\sigma_{зад}^2$, $\sigma_{зад}^3$ і $\sigma_{зад}^4$ - позначені відповідні розв'язувані задачі гранично допустимі напруги, наприклад, $\sigma_{зад}^1$ - це гранично допустимі напруги в заклепувальному з'єднанні для обраного типу заклепок, матеріалу заклепок і

т.д.

На рис. 2.10. наведено алгоритм визначення параметрів технологічного рішення створення клеє-заклепувального з'єднання. Як видно з наведених алгоритмів (рис. 2.9. та рис. 2.10.), їх принциповою відмінністю є відсутність кількісних оцінок якості технологічного прийнятого рішення, (рис. 2.9.) на

кожному етапі, на відміну від конструкторського (рис. 2.10.) рішення, де такі оцінки проводять після кожного етапу обчислень.

При прийнятті конструкторських рішень, так само, як і для технологічних рішень, використовуються описові форми представлення даних, наприклад, за властивостями матеріалів. Для клеє-заклепувального сполучення даний перелік застосовуваних матеріалів обмежується марками (і властивостями) клеїв та марками (і властивостями) заклепок.

Однак, незважаючи на те, що даний матеріал представлений у технічній літературі у вигляді баз даних, часто не зручних для їх безпосереднього використання в інженерних розрахунках, проте, на кожному етапі розробки конструкторського рішення має місце розрахунковий блок (див. рис. 2.7).

Якщо проведені розрахунки задовольняють заданим технічним вимогам, які визначають умови працездатності з'єднання (у наведеному алгоритмі це позначено словом «Так»), то обчислення тривають у встановленій послідовності.

Якщо ж розрахунки показують, що технічні вимоги не виконуються (у наведеному алгоритмі це позначено словом «Ні»), відбувається повернення до попереднього етапу, на якому повторно проводять вибір з подальшим повторним розрахунком. Таким чином, після ухвалення конструкторського рішення поетапний контроль проводиться повсюдно і, як правило, реалізується з мінімальними витратами. Правильність здійснених розрахунків

підтверджується (або спростовується) результатами механічних випробувань.

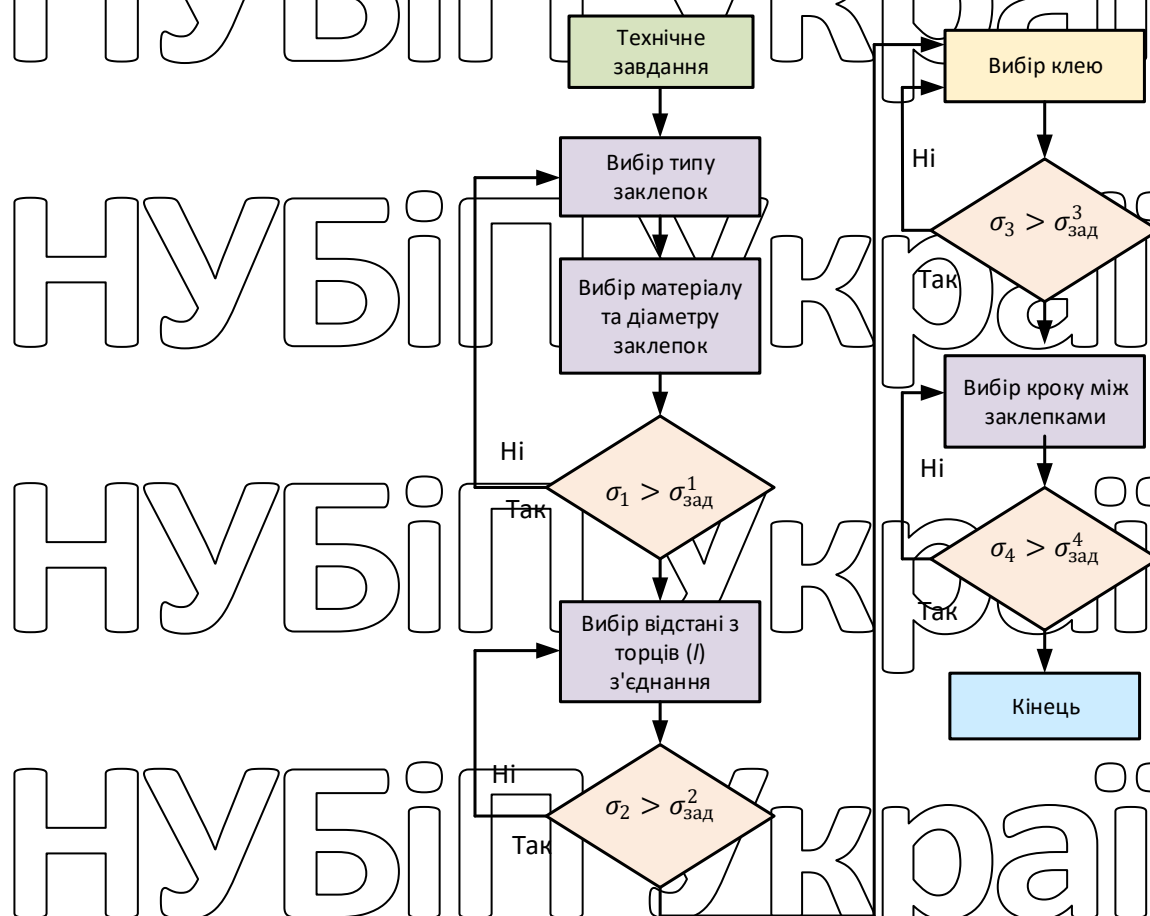


Рис. 2.7. Алгоритм формування конструкторського рішення клеє-заклепувального з'єднання

Особливість контролю якості технологічних рішень, що приймаються, полягає в тому, що втрати якості можуть відбуватися на кожному етапі, тоді як контроль можливий тільки після завершення всіх технологічних операцій (див. рис. 2.9).

При такому підході має місце накопичення похибок, які можуть бути на кожному технологічному переході і, як наслідок, зниження якості готової продукції.

Для скорочення термінів на розробку клеє-заклепувальних технологічних режимів пропонується поєднати етапи конструкторської та технологічної розробки. Алгоритм такого конструкторсько-технологічного рішення показано на рис. 2.9.

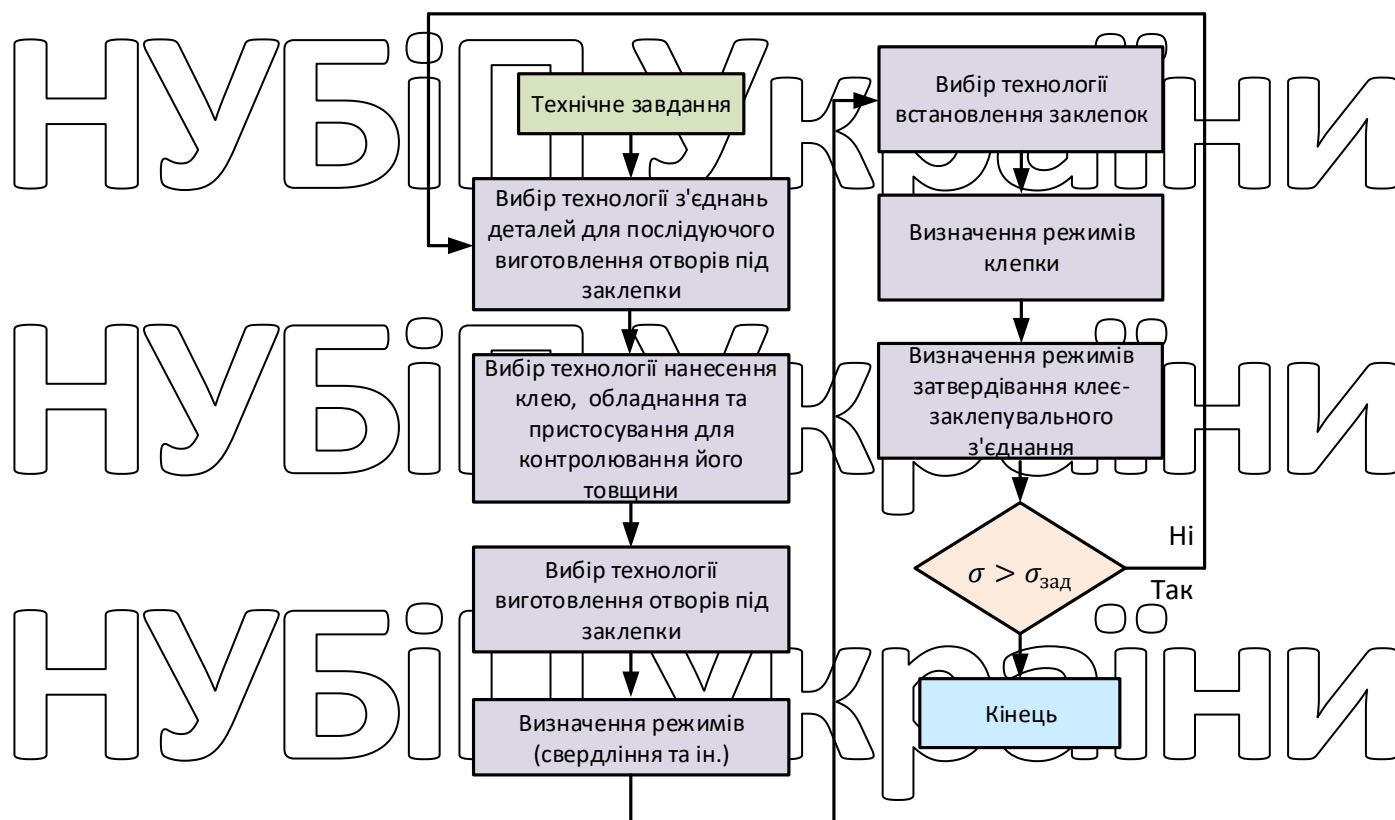


Рис. 2.8. Алгоритм формування технологічного рішення клеє-заклепувального з'єднання

Процедура прийняття конструкторсько-технологічного рішення включає завдання вибору і наступного аналізу, які виконуються послідовно. Первинний вибір матеріалів передбачає аналіз варіантів, який закінчується прийняттям технічного рішення по одному (або відразу декільком) характеристикам, що оцінюються. Якщо після ухвалення рішення відразу ж відбувається облік технологічних вимог, то цьому випадку істотно скорочується тривалість розробки та підвищується якість.

Наприклад, якщо на підприємстві відсутнє обладнання, що дозволяє проводити затвердіння клею за підвищеної температури, то при виборі клею (це початковий етап розробки конструкторсько-технологічного рішення) цей клас клеїв з розгляду виключається.

Якщо технолог знатиме допуски на паралельність двох деталей, що підлягають клеє-заклепуванню, то він зможе ще більше звужити діапазон пошуку клею, обмеживши його за в'язкістю.

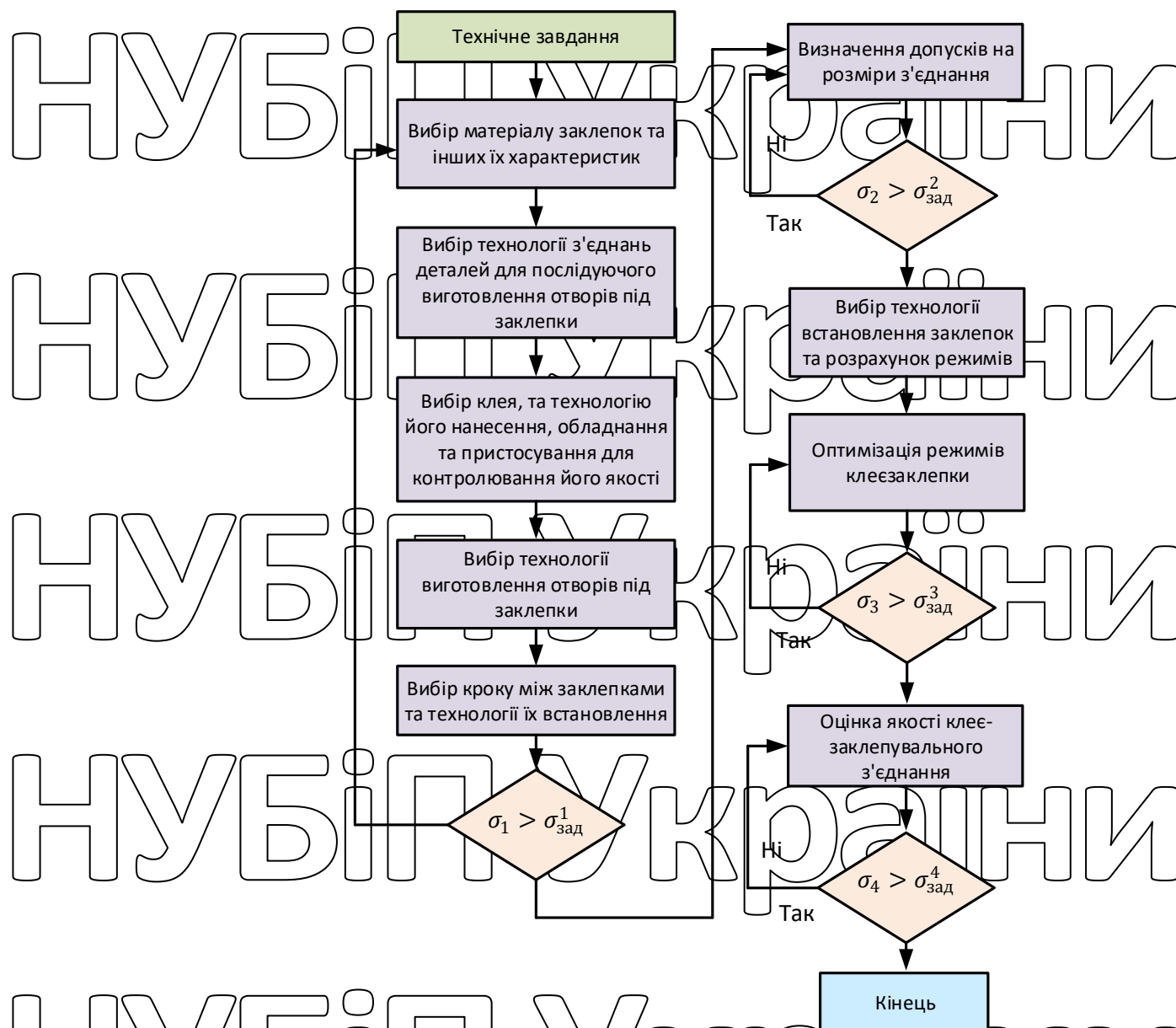


Рис. 2.9. Алгоритм формування конструкторсько-технологічного рішення в умовах автосервісного підприємства

При такому підході мінімізується кількість можливих помилок, що призводить до суттєвого скорочення термінів на розробку технології ремонту.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КЛЕЄ-ЗАКЛЕПУВАЛЬНОГО СПОЛУЧЕННЯ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ХАРАКТЕРИСТИК ВИКОРИСТАНОГО КЛЕЮ

У цьому розділі наведено результати експериментальних досліджень, що дозволяють оцінити якість клеє-заклепувального з'єднання, отриманого в умовах автосервісного підприємства, залежно від властивостей та технології нанесення використаного клею-розплаву.

3.1. Обґрунтування доцільності використання клею в заклепувальному з'єднанні під час ремонту автомобільних кузовів

При оцінці якості клеє-заклепувального з'єднання досліджувалась структура матеріалу безпосередньо в місці встановлення заклепок. Такий метод оцінки дозволяв оцінити видимі дефекти з'єднання. Для проведення дослідження використовувався оптичний мікроскоп Optics Lab2, що дозволило відмовитися від тривалої операції з виготовлення шліфів і не зажадало тривалих витрат на проведення випробувань. Для порівняння, у роботі було проведено структурний аналіз стандартного заклепувального з'єднання, виготовленого без використання клею безпосередньо відразу ж після виготовлення (рис. 3.1., а) та після 6 місяців його зберігання в умовах цеху (рис. 3.1., б).

На наведених рис. (див. рис. 3.1. б) видно, що після зберігання заклепувального з'єднання в звичайних умовах, навколо заклепки має місце утворення іржі. Аналогічні дослідження проводили на клеї-розплаві марки Теплак-2П (рис. 3.2.). Поверхня зразків перед нанесенням клею спеціально не готувалась, тобто, не проводилося додаткового знежирення чи зашкурювання.

Жодного додаткового тиску при нанесенні клеїв не прикладалося, що дозволило наблизити технологію виготовлення дослідних зразків до реальних виробничих умов.



Рис. 3.1. Фото поверхні заклепки (а) та навколо заклепувальної зони (б) безпосередньо після клепки (а) та через 6 місяців (б)



Рис. 3.2. Фото різних ділянок поверхні заклепки, встановлених на клей марки Теплак-2П безпосередньо після клепки (а, б), через 9 (в) та 12 (г) місяців після клепки

В результаті проведених досліджень встановлено, що іржа не утворюється через 12 місяців після виготовлення клеє-заклепувального з'єднання. Однак, на отриманих фото добре помітні перші ознаки деструкції клейового матеріалу (див. рис. 3.2., в) у вигляді невеликих відшаровувань клею від поверхні заклепки. Такий тип ушкодження, ймовірно, пов'язаний із низькою адгезійною міцністю. В результаті нещільного прилягання клею з часом можливе утворення іржі. Таким чином, необхідні додаткові дослідження, які б дозволили обґрунтувати раціональний вибір клейового матеріалу для виготовлення клеє-заклепувального сполучення.

3.2. Обґрунтування вибору клею для клеє-заклепувальної технології збирання автомобільних кузовів в умовах автосервісного підприємства

Проведений аналіз літератури показав, що традиційно для клеє-заклепувальної технології використовувалися терморезистивні клеї на основі епоксидних смол та затверджувачів, які забезпечували клею низьку в'язкість при кімнатній температурі та швидке затвердіння при підвищених температурах. Однак, за такої технології складання повністю виключалася наступна розбірка з'єднання, оскільки для цього було потрібне тривале нагрівання до температури понад 250°C протягом декількох годин і значні механічні зусилля.

Заміна епоксидних клеїв на менш міцні, але більш технологічні клеї-розплави дозволяє вирішити задачу ремонтпридатності клеє-заклепувального з'єднання. Однак необхідно провести порівняльну оцінку експлуатаційних характеристик клеїв, які традиційно застосовуються в клеє-заклепувального з'єднаннях та нових матеріалів, пропонує у цій роботі.

Як зразки для проведення випробувань були використані три марки вітчизняних клеїв-розплавів Летек, Теплак-2П, МС-1, які раніше при виготовленні клеє-заклепувального сполучення ніколи не використовувалися.

Як аналог були також використані дві марки вітчизняних епоксидних клеїв, які традиційно застосовують при створенні клеємеханічних з'єднань в авіаційній промисловості марок ВК-9 та К-300. Величина когезійної міцності клеїв оцінювалася за величиною руйнівної напруги при розтягуванні, а величина міцності адгезійної - визначалася шляхом випробувань клейових сполучення зі сталі 30ХГСА на зсув. Випробування на розтяг та зсув проводили при кімнатній температурі. Деформаційні характеристики клеїв оцінювалися за величиною відносного подовження, яке визначали на лопатках товщиною 2 мм,

Як впливає з отриманих даних, за своєю когезійною та адгезійною міцністю клеї-розплави у кілька разів поступаються епоксидним клеям, проте за своїми деформаційними характеристиками вони суттєво їх перевершують (табл. 3.1.).

Як аналог в роботі також були використані два імпортні клеї марок Betamate-2096 і Justant-PAK. Клей марки Betamate-2096 відноситься до групи термореактивних клеїв на основі епоксидного олігомеру, що широко використовується при ремонті автомобільних кузовів і за своїми властивостями близький до клею ВК-9. Клей марки Justant-PAK відноситься до класу клеїв-розплавів і широко використовується при виробництві побутової техніки, проте його хімічний склад становить комерційну таємницю виробника і він використаний лише для порівняльного аналізу властивостей вітчизняних та імпортних матеріалів. Коєзійна міцність клею Justant-PAK складала 65МПа, що в кілька разів перевищує міцність вітчизняних клеїв-розплавів, що використовуються.

Для такого показника як межа міцності при зрушенні була проведена статистична обробка отриманих результатів. Вибір саме цього показника був пов'язаний із відносною простотою виготовлення зразків та близькими умовами роботи клеє-заклепувального з'єднань при експлуатації автомобілів.

Таблиця 3.1.

Властивості вітчизняних клеїв

Властивості	Летек	МС-1	Теплак-2П	ВК-9	К-300
Кількість компонентів	1	1	1	2	3
Температура плавлення, °С	110	180	140	0	-
Температура затвердіння, °С	-	-	-	20	20
Діапазон робочих температур, °С	-	-40...+95	-	60...+125	-60...+300
Межа міцності при розтягуванні, МПа	11	25	9	115	148
Межа міцності при зсуві, Мпа при 20°С	3,2	4,24	2,5	15	11
Відносне подовження, %	44	48	60	<1	<1

Для склеювання використовувалися стандартні металеві пластини зі сталі 0,8кп, які склеювали в стандартному пристрої, площа клеєвого шва становила 3 см². Статистична обробка проводилася тільки для 2-х марок клеїв Теплак-2П та МС-1 (вибір саме цих матеріалів для проведення статистичної обробки пояснюється їхньою гарною технологічністю). Для кожного типу клею було виготовлено по 25 зразків і далі визначено значення межі міцності τ_i середньоквадратичних відхилень (табл. 3.2).

Величину середньоквадратичного відхилення визначали за рівнянням

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{25} (\tau_i - \tau_{cp})^2}{25}} \quad (3.1.)$$

Дані табл. 3.2. використані як робочої таблиці для отримання варіаційного ряду, який був усі значення межі міцності (для кожного клею), розташовані в порядку зростання. Для клею Теплак-2П маємо наступний варіаційний ряд: 1,4; 1,6; 1,7; 1,7; 1,8; 1,8; 2,1; 2,2; 2,2; 2,3; 2,3; 2,5; 2,5; 2,5; 2,6; 2,6; 2,7; 2,7; 2,9; 2,9; 2,9; 3,5; 3,6; 3,8; 4. Аналогічно знаходимо варіаційний ряд для клею МС-1.

Для кожного інтервалу визначено частоту, яка дорівнювала числу значень, що потрапили в цей інтервал (табл. 3.2. та 3.3.).

За отриманим варіаційним рядом будемо гистограми розподілу (рис. 3.3.). По осі абсцис відкладаємо значення міцності, для клею марки Теплак-2П починаючи з 1,4 до 4,0 МПа, а осі ординат проєтавляємо масштаб частот (рис.

3.3., а). Для клею МС-1 також знаходимо варіаційний ряд і осі абсцис відкладаємо значення міцності, починаючи з 3,1 і закінчуючи 5,1 МПа (рис. 3.3., б). Вважаємо, що всередині кожного інтервалу частоти розподілені рівномірно і тому між собою з'єднуємо інтервали прямими лініями.

Замість гистограм можна побудувати полігон розподілу, який дозволяє отримати наочне відображення варіаційного ряду.

Таблиця 3.2.

Обробка результатів табл. 3.2 для клею Теплак-2П

Кількість інтервалів	Значення меж міцності для кожного інтервалу	Частота
1	1,4 - 1,6	2
2	1,7 - 2,0	4
3	2,1 - 2,4	5
4	2,5 - 2,8	8
5	2,9 - 3,2	3
6	3,3 - 3,6	2
7	3,7 - 4,0	1

Таблиця 3.3.

Обробка результатів табл. 3.2 для клею МС-1

Кількість інтервалів	Значення меж міцності для кожного інтервалу	Частота
1	3,1 - 3,4	2
2	3,5 - 3,8	3
3	3,9 - 4,2	7
4	4,3 - 4,6	8
5	4,7 - 5,0	3
6	5,1 - 5,4	2

З отриманих результатів випливає, що розкид даних невеликий, оскільки величини середньоквадратичного відхилення для клею Теплак-2П та МС-1 склали 18 та 6% відповідно від середньої міцності. Величина середньоквадратичного відхилення для клею МС-1 в 3 рази менше, ніж для клею Теплак-2П, що дозволяє за інших рівних умов віддати саме цьому клею перевагу. Цей клейовий матеріал дозволяє отримувати клейові сполучення з більшою міцністю.

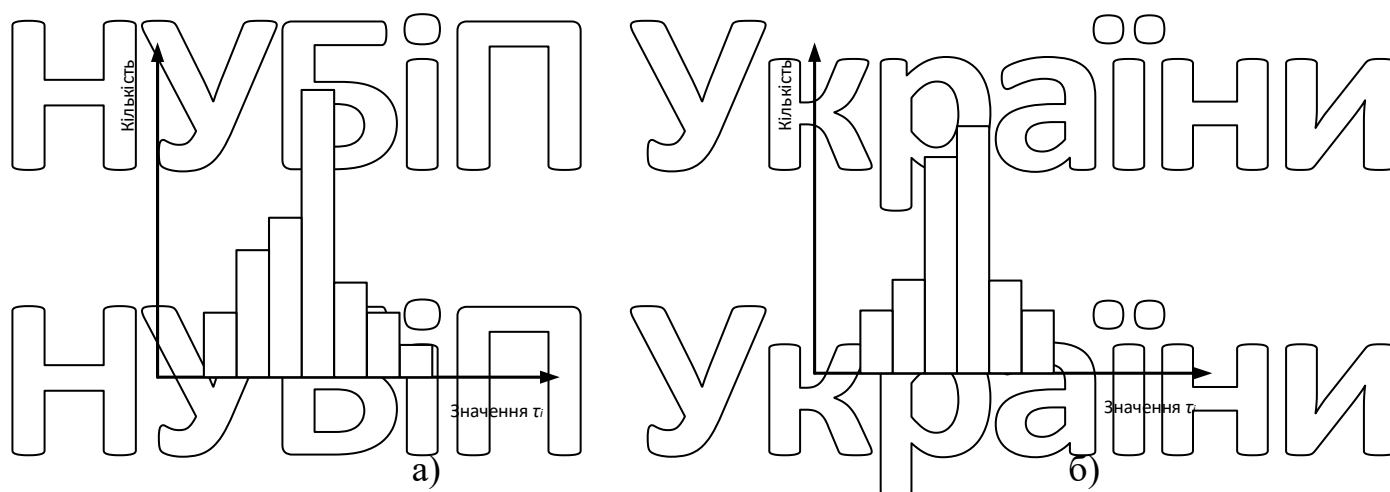


Рис. 3.3. Гістограми розподілу значень міцності для клеїв марок Теплак-2П(а) та МС-1(б)

Таким чином, використання клею МС-1 є кращим і тому саме цей клейовий матеріал обраний для подальших випробувань при визначенні найбільш раціональної технології склеювання.

Експлуатаційні властивості клейових сполучення оцінювалися за їхньою стійкістю в різних робочих середовищах. В якості таких робочих середовищ були обрані: вода, 5% водний розчин NaCl (аналог антижелезедного реагенту) та олива. Витримка проводилася за кімнатної температури протягом 60 днів.

Стійкість оцінювалася за величиною коефіцієнта збереження властивостей (табл. 3.4.).

Таблиця 3.4.

Значення коефіцієнтів збереження властивостей

Марки клеїв	Після витримки у воді	Після витримки у 5% водному розчині NaCl	Після витримки в оливі
Летек	0,85	0,82	0,93
Теплак-2П	0,9	0,87	1
МС-1	0,91	0,9	0,95
ВК-9	0,95	0,93	1
К-300	0,98	0,96	1
Betamate-2096	1	1	1
Justant-PAK	0,85	0,81	0,93

Дані, наведені у табл. 3.4 було отримано шляхом проведення повного факторного експерименту. Для клею марки МС-1 була побудована матриця

планування 2^2 для двох факторів: тривалість витримки у воді (X_1) та

температура (X_2). Як основний рівень для фактора X_1 обраний термін витримки

45 днів, інтервал варіювання $\Delta X_1 = 15$. У цьому випадку значення верхнього

та нижнього рівнів дорівнюватимуть 30 і 60 днів відповідно. Як основний

рівень для фактора X_2 вибираємо температуру 40°C , інтервал варіювання $\Delta X_1 =$

20. Значення верхнього та нижнього рівнів дорівнюватимуть 20 і 60 відповідно.

Матриця планування експерименту цих двох чинників і отримані експериментальні результати наведено в табл. 3.5. Для кожного дослід було проведено по п'ять вимірів та знайдено середнє значення

Таблиця 3.5.

Матриця планування експерименту

№ дослід	X_1	X_2	Y_i	Y_{cp}
Загальна форма запису матриці планування				
1	+	+		
2	+	-		
3	-	+		
4	-	-		
Реалізація матриці планування експерименту				
1	60	60	3,0; 3,5; 2,3; 2,4; 2,7	2,78
2	60	20	4,4; 4,8; 4,2; 3,9; 4,3	4,32
3	30	60	3,1; 3,3; 2,8; 2,4; 2,6	2,84
4	30	20	4,7; 4,9; 3,6; 4,1; 4,4	4,34

Як видно з отриманих експериментальних даних, всі досліджувані клейові матеріали характеризуються високою стійкістю до тривалого впливу машинної оливи, води та 5% водного розчину NaCl. Для дослідження пружних характеристик клеїв-розплавів (модулів пружності E' та втрат E'') використовували метод динамомеханічного аналізу. Усі випробування проводили на приладі DMA 242 E Artemis в діапазоні температур від $+20^{\circ}\text{C}$ до $+100^{\circ}\text{C}$ при режимах відповідно до рекомендацій: частота коливань 1 Гц, амплітуда 50 мк, динамічна сила 10Н, статична сила 0,5Н швидкість підйому температури 1К/хв. Порівняно з прийнятими для полімерів режимами нагріву швидкість підйому температури була знижена з 3-5 К/хв до 1 К/хв, що дозволяло проводити випробування в рівноважних умовах і порівняти між собою модулі всіх досліджуваних марок клеїв (і термопластичних та термореактивних).

Зразки для випробувань являли собою бруски розміром 150x10x10 мм. У вихідному стані всі досліджені клеї-розплави являли собою гранули, які засипали у форму, далі в термошафі їх розплавляли при температурах плавлення, значення яких кожного клею наведено в табл.

3.1. Після повного розплавлення зразки разом із формою виймали з термошафи та охолоджували при кімнатній температурі. Після повного охолодження зразків проводили їх механічну обробку (фрезерування та зашкурювання), що дозволило отримати зразки одного розміру. Результати випробувань клейових матеріалів методом динамомеханічного аналізу (DMA) у вихідному стані та після витримки у воді протягом 100 діб, наведені у табл. 3.6.

При підвищенні температури до $+50^{\circ}\text{C}$ значення модулів пружності для клеїв-розплавів складало від 2540 МПа (для клею марки Летек) до 4200 МПа і 4240 МПа для клеїв-розплавів марок Теплак-2П і МС-1 у відповідності.

Як видно з отриманих даних, модулі пружності клеїв-розплавів марок Теплак-2П та МС-1 близькі між собою і приблизно на 32% вище, ніж у епоксидного клею, який традиційно використовується при клеє-заклепувальній технології.

3.3. Експериментальне дослідження властивостей міцності клеє-заклепувального сполучення з різними типами клеїв

Далі у роботі було проведено механічні випробування клеє-заклепувального сполучення. Випробування на зсув (зріз) проводять на випробувальних машинах згідно з ГОСТ 28840-90. Даний ГОСТ дозволяє проводити випробування на зсув і розтяг зразків, а також вимірювати величину навантаження з гранично допускається похибкою в районі $\pm 1\%$ від вимірювального навантаження. Схема зразків для проведення механічних випробувань, загальний вигляд пристрою для випробувань та фото зразків до, у процесі випробувань та після показані на рис. 3.4., 3.5. та 3.6. Як видно із рис. 3.5. (б) на клиновій губці захоплення є риски з кроком в 1 см, що дозволяють найбільш точно встановлювати зразки захоплення і максимально виключити зміщення осі зразка щодо осі зсуву.

Розміри зразків становили 100x20 мм, що відповідало ГОСТ 6996-66 (див. рис. 3.4.).

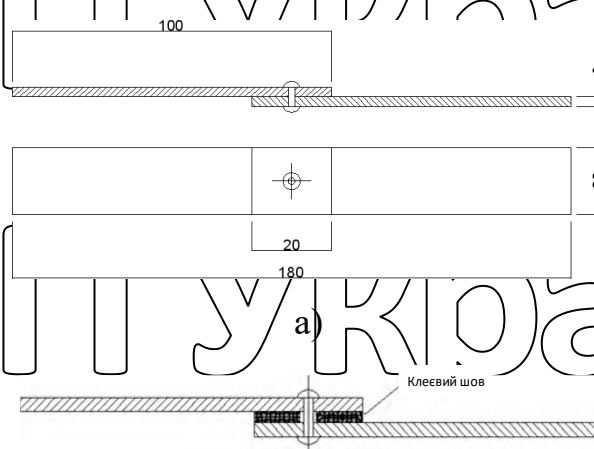


Рис. 3.4. Зовнішній вигляд заклепувальних (а) та клеє-заклепувальних (б) зразків для проведення випробувань

Виготовлення зразків проводилося строго за технічною документацією на клей, зміщення і викривлення склеюваних площин, не допускалися.

Зразки виготовлялися з різними типами клеїв та самопробивними заклепками. Для оцінки впливу якості підготовки поверхні на властивості клеє-заклепувального з'єднань, при проведенні випробувань кожної марки

виготовлялися клеє-заклепувальні зразки без попередньої підготовки поверхні і з підготовкою поверхні. Кількість зразків з однією маркою клею склала 4 штуки (по 2 зразки без обробки поверхні під склеювання та по 2 зразки з обробленою поверхнею під склеювання), що додатково дозволило оцінити вплив якості підготовки поверхні на властивості клеє-заклепувального з'єднань.

Випробування проводилися згідно з ГОСТ 28840-90 на випробувальній розривній машині Tiratest 2300 з граничним розривним навантаженням 10 т.

Проведення випробувань проводилося за такою методикою: заздалегідь підготовлений зразок встановлюють у спеціальні затискачі випробувальної машини, при цьому поздовжня вісь зразка повинна збігатися з віссю застосування навантаження і віссю губок, що затискають зразок. Суть випробування полягає у поступовому збільшенні навантаження на зразок до повного руйнування з'єднання зразка. Рух затискача машини відбувався зі швидкістю від 10 до 20 мм/хв. Наявність програмного забезпечення дозволяло фіксувати навантаження в часі, аж до руйнування. Отримані результати наведено у табл. 3.6.

На підставі проведених випробувань можна зробити висновок, що найбільшою міцністю на зсув (зріз) мають сполучення із застосуванням епоксидних клеїв, в той час як клеї-розплави на даний момент значно поступаються міцності. Однак, всі досліджувані клеї-розплави забезпечили збільшення міцності більш ніж на 13% порівняно з традиційними заклепувальними сполученнями. Найменший приріст міцності одержаний при використанні клею марки Теплак-2П, найбільший для клею МС-1.

Таблиця 3.6.

Результати визначення середнього максимального навантаження на зсув (зріз) для заклепувальних та клеє-заклепувального сполучення

Технологія нанесення ПМ	Середнє тах навантаження на зсув (зріз), кгс					
	Марка клею, що використовується					
	Без клею	Летек	Теплак-2П	МС-1	Justant-PAK	Betamate-2096
Без підготовки поверхні	251	320	300	322	320	520
З підготовкою поверхні		330	325	330	329	550

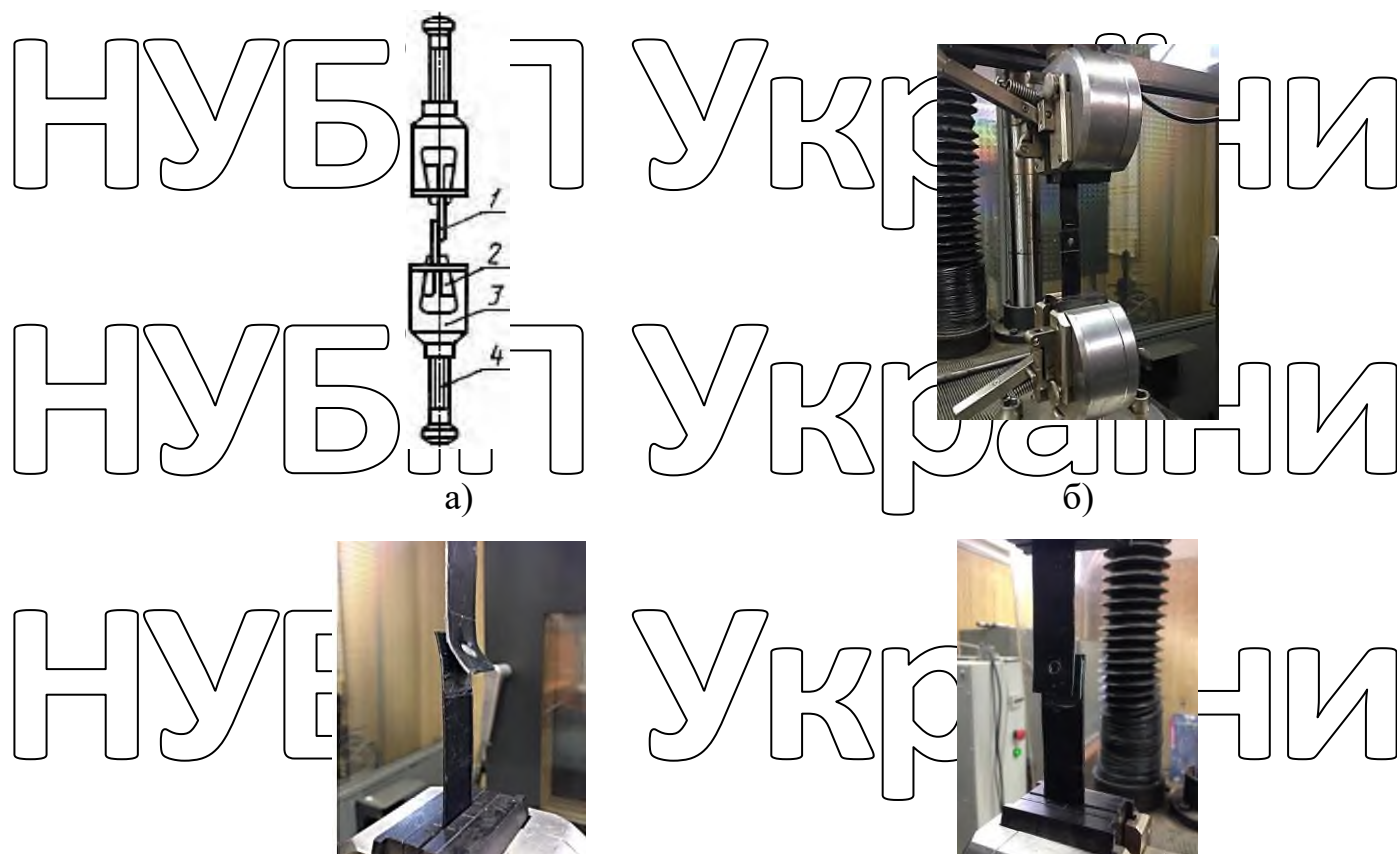


Рис. 3.5. Схема (а) та фото закріплення зразків (б) та фото зразків без клею (в) та з клеєм (п) у процесі випробувань: 1 - зразок; 2 - клинова губка; 3 - корпус головки; 4-тяга

Клей марки Летек при проведенні додаткової технологічної операції, пов'язаної з очищенням заклепувальних поверхонь, також дозволив отримати великі значення міцності, проте в реальному авторемонтному виробництві проводити таку технологічну операцію складно (або навіть не можливо). Таким чином, на підставі проведених досліджень найкращими характеристиками міцності має вітчизняний клей-розплав марки Теплак-2П.

Подальша оцінка якості клеїв-розплавів марок Летек, Теплак-2П, МС-1 та Instant-РАК у клеє-заклепувальному з'єднанні використовувалася така сама, як і в розділі 3.1. Спочатку оцінювалася здатність клею-розплаву в рідкому стані мимоволі розтікатися по поверхні металу. З цією метою клей спочатку розплавляли і потім, за допомогою стандартного термоцистолета, наносили його на поверхню металевого зразка. Далі два зразки вручну з'єднувалися між собою

і після контакту відразу ж роз'єднувалися. У процесі нанесення оцінювалася суцільність клейового матеріалу, а процесі роз'єднання пластин – оцінювалася конфікційна липкість клею, яка характеризує здатність клею утримуватися на металевій поверхні у рідкому вигляді, тобто. до його застигання. Цей метод є

умовним,

В результаті проведених досліджень було встановлено, що клей марки Теплак-2П суттєво гірший, ніж клеї марок Justant-PAK, Летек та MC-1 змочує поверхню та має найгірші конфікційні властивості. З цієї причини, при проведенні структурних досліджень кількість зразків клеє-заклепувального

сполучення, виготовлених на клеї Теплак-2П, була збільшена вдвічі і для цього матеріалу додатково досліджувався вплив температури розплаву на якість розтікання. Зразки наведені на рис. 3.7. (а, б) виготовлялися при нагріванні

клею до 120°C , зразки, наведені на рис. 3.7. (в, г) виготовлялися при нагріванні клею до температур 110°C , а зразки на рис. (д, е) при температурі 100°C .

Підвищення температури вище 120°C не проводилося, оскільки при 130°C починалася термічна деструкція клею, що відразу ж призводило до зміни його кольору.

Структура поверхонь заклепок, у з'єднаннях зібраних за клеє-заклепувальною технологією з використанням клеїв-розплавів марок Теплак-2П, Justant-PAK, MC-1 та Летек показана на рис. 3.6 та 3.7. На клеї марки Теплак-2П було виготовлено 6 зразків, на клеях марок MC-1, Justant-PAK та Летек по 3 зразки.

Аналіз отриманих структур дозволяє зробити такі висновки:

1) Клей-розплав марки Теплак-2П догано змочує поверхню металу, оскільки повністю не розтікається і утворює на поверхні різні візерунки (див. рис. 3.6.), тоді як клеї-розплави марок Justant-PAK, MC-1 і Летек повністю змочують поверхню металу, розтікаючись нею суцільним шаром (див. рис. 3.8.).

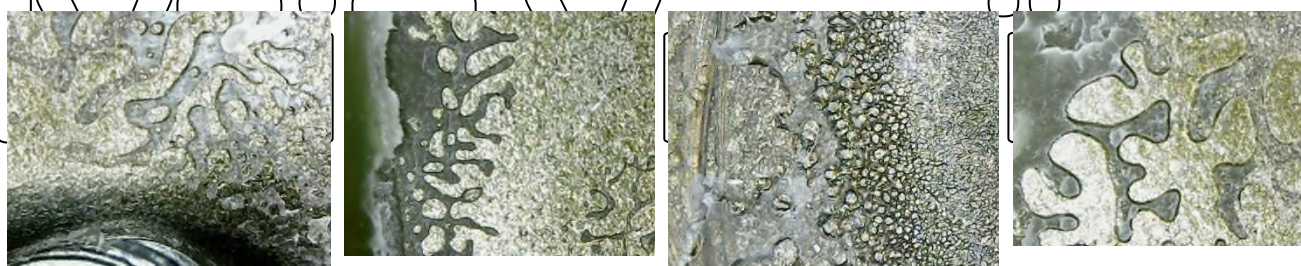
2) Підвищення температури не призводить до поліпшення змочування даного клею, оскільки навіть при підвищенні температури вище температури

щинності на 20°C він все одно не розтікається по металевій поверхні суцільним шаром. У той же час, при підвищенні температури знижується (див. рис. 3.6.) товщина клейового шару, що призводить до появи значно дрібнішого візерунка.

3) Для всіх досліджених клеїв-розплавів між заклепкою і клеєм є повний контакт, що призводить до утворення суцільного клейового пояса навколо заклепки, що спостерігається навіть для клею, що погано змочує (див. рис. 3.7., в). Найбільш рівний та широкий пояс отримано при використанні клею марки МС-1 (див. рис. 3.7 д, е).

4) При застиганні клею-розплаву Теплак-2П (див. рис. 3.6.) не відбувається утворення пор, тоді як при застиганні клею Justan-РАК (див. рис. 3.8., а, б) і Летек (див. рис. 3.7, в, г) видно численні пори.

5) При застиганні клею-розплаву марки МС-1 (див. рис. 3.7, д, е) пори також не утворюються, проте клейовий матеріал застигає на поверхні заклепки нерівним шаром.



а) б) в) г)

Рис. 3.6. Фото поверхні клеє-заклепувального з'єднання на клеї-розплаві марки Теплак-2П, розплавленого до температури: 120°C (а, б); 110°C (в, г); 100°C (д, е)



а) б) в) г)

Рис. 3.7. Фото різних ділянок поверхні клеє-заклепувального з'єднання на клеях-розплавах марок Justan-РАК (а, б), Летек (в, г) та МС-1 (д, е)

Таким чином, за результатами структурних досліджень встановлено, що найменш дефектну структуру мають клеї марок Теплак-2П та МС-1.

3.4. Дослідження ремонтпридатності клеє-заклепувального з'єднання під час ремонту автомобільних кузовів

Для клеє-заклепувального з'єднання під терміном ремонтпридатність розуміють можливість швидкого демонтажу та повторного складання з'єднання (із заміною пошкоджених елементів). Незважаючи на те, що характеристика ремонтпридатності є однією з основоположних і входить у поняття надійності, відсутні експериментальні методи її визначення.

У цій роботі ремонтпридатність з'єднань виготовлених з використанням клеїв-розплавів оцінювалася за часом повного видалення клею з поверхні металевого зразка після висвердлювання заклепки. Видалення залишків клею проводили при кімнатній температурі та після нагрівання зразків у термошафі до температури $+100^{\circ}\text{C}$. Для видалення використали металевий скребок. Усі випробування видалення клею проводилися на стандартних зразках на зсув.

Отримані результати наведено у табл. 3.7. Фото поверхонь зразків після видалення з них залишків клею наведено на рис. 3.7.

В результаті проведених досліджень встановлено, що епоксидні клеї навіть після їх попереднього прогріву не видаляються вручну з металеві поверхні, на відміну від усіх випробуваних клеїв-розплавів. Демонтаж клеє-

заклепувального з'єднань з епоксидним клеєм ускладнюється тим, що через високу міцність клею та відсутність термопластичності, потрібне застосування додаткового силового навантаження та використання додаткових інструментів.

Через це значно підвищується трудомісткість роботи з демонтажу. Також у процесі демонтажу є можливість пошкодити поверхню придатного для повторного з'єднання шва. Після видалення термопластичного клею на Justant-PAK (рис. 3.7 а, б) та Летек (рис. 3.7. в, г) на поверхні зразків зафіксовані вогнища корозії, що свідчить про неможливість використання цих матеріалів під час ремонту автомобільних кузовів. Після видалення клейових матеріалів марок МС-1 (рис. 3.7. д, е) та Теплак-2П (рис. 3.7. ж, з) спостерігається чиста поверхня.

Таблиця 3.7.

Марки клеїв	Час повного видалення клею, мін при температурі нагрівання металевого зразка °С	
	20	100
Летек	7	0,8
Теплак-2П	5	0,5
МС-1	3	0,5
ВК-9	ні	ні
К-300	ні	ні
Betamate-2096	ні	ні
Justant-PAK	8,5	1,5

Основною перевагою використання клеїв-розплавів при створенні клеє-заклепувального з'єднань в умовах авторемонтного виробництва є простота демонтажу з'єднання, а також підвищення характеристик міцності і жорсткості конструкцій, що працюють в умовах статичних, динамічних і вібраційних навантажень. Це пояснюється тим, що при експлуатаційному навантаженні, наприклад, статичному триточковому вигині, деформування конструкції не супроводжується поворотом силових точок відносно один одного. Демонтаж з'єднання, отриманого з використанням клеїв-розплавів, забезпечується за рахунок того, що при нагріванні термопластичні клеї-розплави переходять у рідкий стан і втрачають липкість.



а)

б)



в)

г)

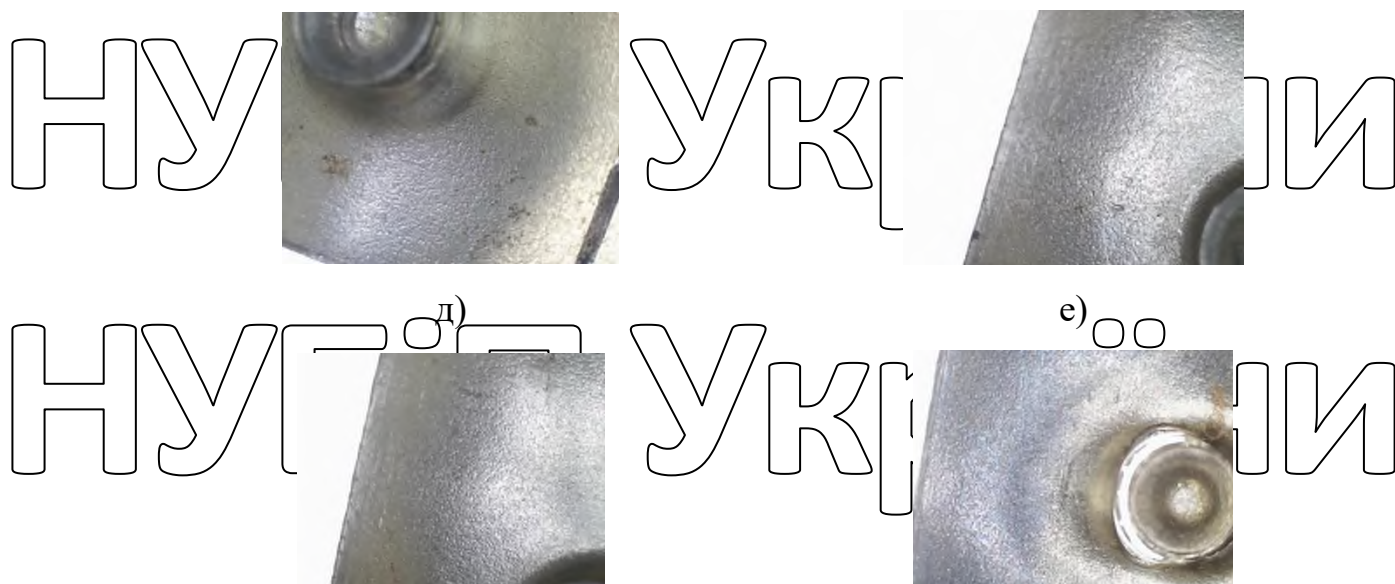


Рис. 3.8. Фото різних ділянок поверхні клеє-заклепувального з'єднання після демонтажу та видалення термопластичного клею-розплаву: Justant-PAK

(а, б), Летек (в, г), МС-1 (д, е) та Теплак-2П (ж, з)

Послідовність дій з демонтажу клеє-заклепувального з'єднань з клеями-розплавами виглядає наступним чином. Для початку шов зачищається від бруду та лакофарбового покриття, якщо таке є; заклепки висвердлюються; проводиться нагрів шва з використанням будівельного фена до температури плавлення клею-розплаву (від 100 до 200°C); при нагріванні клей з твердого стану переходить у в'язкотекуче, і склеєні поверхні роз'єднуються без застосування навантаження. Залишки розплавленого при нагріванні клею видаляються з поверхонь деталей ганчіркою. В результаті виходить акуратна та чиста поверхня, придатна для повторного склеювання та клепки. Також при створенні клеє-заклепувального з'єднань з використанням епоксидних клеїв необхідно стежити за мікрокліматичними параметрами робочої зони. При високій вологості процес полімеризації клею сповільнюється і може статися остаточно [5]. У той час як клеї-розплави не є чутливими до вологості повітря.

Як зразки для проведення випробувань використовувалися зразки клеє-заклепувального з'єднання на зріз (див. рис. 3.4). Отримані результати наведено у табл. 38.

Як видно з отриманих даних, на нанесення клею-розплаву і видалення

його надлишків витрачається більше часу, ніж якщо використовувати епоксидний клей. Це пов'язано з тим, що епоксидний клей у вихідному стані є рідкою і тому його надлишки легко видаляються з поверхні зібраного

з'єднання за допомогою ганчірки. При застосуванні клеїв-розплавів для видалення надлишків потрібно або застосувати зусилля, або провести повторне

нагрівання. У той же час, епоксидний клей необхідно щоразу (безпосередньо перед використанням) готувати, що вимагає тимчасових витрат, а також потрібен час на прибирання робочого місця після склеювання. Найбільші

тимчасові витрати потрібні на операцію затвердіння, яка для епоксидних клеїв

може досягати 24 год.

Таблиця 3.8

Час, витрачений на виконання технологічних операцій з використанням різних типів клейових матеріалів

№ операції	Найменування технологічної операції	Час, хв	
		МС-00	ВК-9
1	Підготовка поверхні під склеювання	1,5	
2	Приготування клею	0	10
3	Нанесення клею	1,5	0,5
4	Встановлення заклепок в отвір	0,2	
5	Стяжка деталей, що склеюються і утворення замикаючої головки	1,2	
6	Зняття надлишків клею	1,5	0,5
7	Затвердіння клею	10	1440
8	Прибирання робочого місця	1	10

На кожній технологічній операції також визначалася можливість повторного проведення, пов'язаного з помилкою виконавця. При використанні

епоксидних клеїв не можна повторно провести операцію затвердіння, для

решти технологічних операцій можливість повторного виконання операції

допустима. При використанні клеїв-розплавів таких обмежень немає і якщо необхідно, будь-яка технологічна операція може бути повторно виконана.

РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КЛЕЄ-ЗАКЛЕПУВАЛЬНОГО СПОЛУЧЕННЯ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТЕХНОЛОГІЇ КЛЕПКИ

У цьому розділі наведено результати експериментальних досліджень, що дозволяють оцінити якість клеє-заклепувального з'єднання залежно від матеріалу заклепок та технології клепки.

4.1. Обґрунтування вибору типу заклепок, що використовуються при створенні клеє-заклепувальних з'єднань при збиранні автомобільних кузовів в умовах автосервісного підприємства

При використанні клеє-заклепувальної технології в авто- та машинобудуванні в основному використовуються заклепки двох типів - витяжні (рис. 4.1., а) та пресові (рис. 4.1., б). Пресові заклепки часто називають самопробивними, так як для їх встановлення не потрібно попередньо свердлити отвори, але вони можуть бути встановлені тільки на рівній поверхні (без частин, що виступають), наприклад в отворах дверей і вітрового скла. При встановленні таких заклепок виступаюча частина, утворюється тільки з одного боку, а «шпакля» заклепки знаходиться на рівні деталі і при подальшому фарбуванні практично не видно.

Основним недоліком пресових заклепок є необхідність використання спеціального пресового обладнання (рис. 4.2.), тоді як для встановлення витяжних заклепок використовуються традиційні заклепочники.

Для встановлення витяжних заклепок необхідно свердлити отвори. Тому такі заклепки небажано використовувати при складанні великогабаритних деталей з великою кількістю отворів, які мають ймовірність розбіжності отворів через взаємне зміщення деталей.

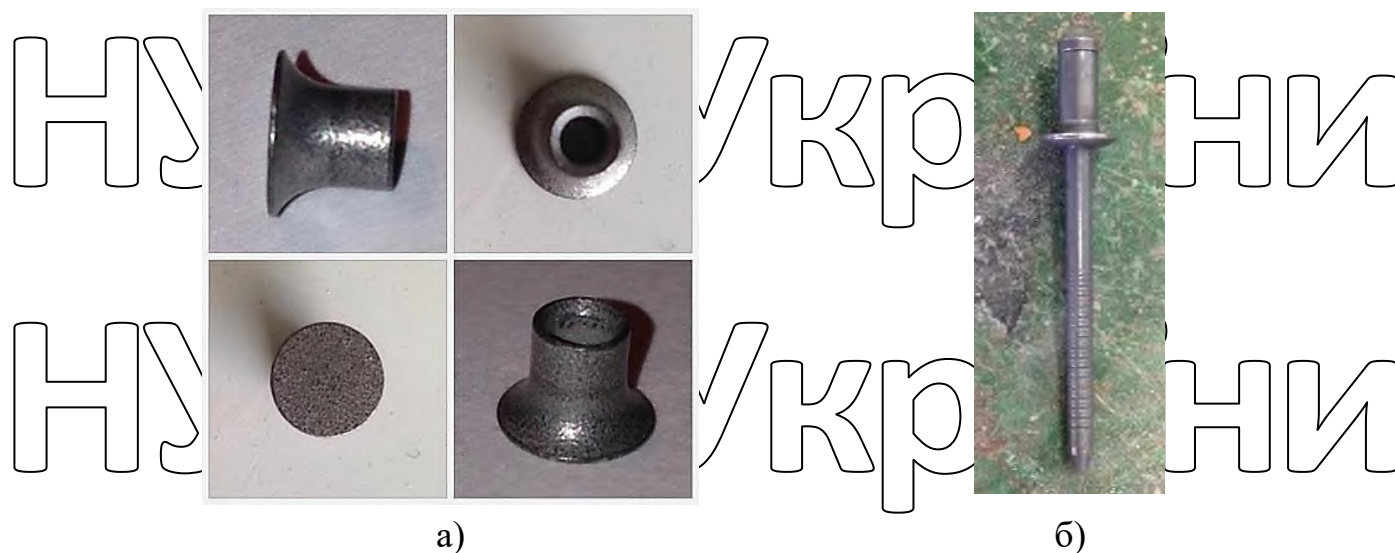


Рис. 4.1. Типи заклепок, що використовуються при випробуваннях:

а) самопробивні заклепки, б) витяжні заклепки



Рис. 4.2. Фото ручного заклепочника для встановлення пресових (самопробивних) заклепок

Наступним важливим питанням є вибір матеріалу заклепок. Матеріал, з якого виготовляються заклепки, повинен мати достатню пластичність для забезпечення формування головки, однаковий діапазон температурного розширення з матеріалом основної деталі, а також повинен бути однорідним з деталями, що з'єднуються, щоб уникнути виникнення електрохімічної корозії.

Як матеріал для заклепок при виконанні даної роботи були використані леговані стаї феритного класу. Для вивчення структури матеріалу заклепок із них були виготовлені шліфи. Заклепки задили розчином карбодента, після затвердіння якого проводили шліфування на шліфувальному папері різної

зернистості та алмазної пасти. Після шліфування, поверхня оброблялася 4% розчином азотної кислоти і далі промивалася в етиловому спирті. Дослідження структури проводили на оптичному мікроскопі Neophot-21 при збільшенні $\times 1000$ разів. Отримані фото наведено на рис. 4.3.

Як видно з наведених фото, мікроструктура стрижня та корпусу витяжних заклепок різна.

Як матеріал для заклепок використовуються такі матеріали:

→ витяжне заклепування - Сталь 10Ю - сталь конструкційна вуглецева

якісна.

→ пресова заклепка Ст40Х (загартування + висока відпустка) - сталь конструкційна легована.

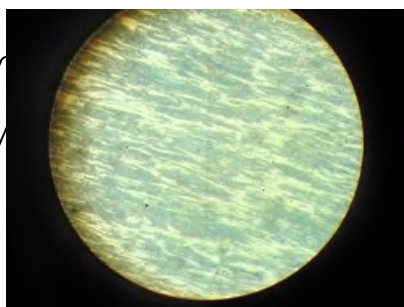


а)

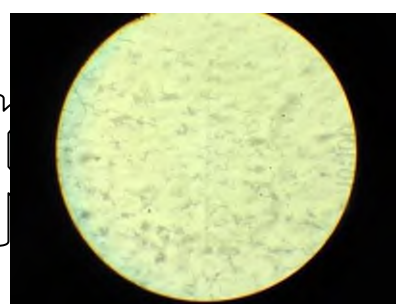


б)

Рис. 4.3. Фото шліфів витяжних (а) та самопробивних (б) заклепок



а)



б)



в)

Рис. 4.4. Фото структури стрижня (а) та корпусу (б) витяжної та пресоаної (в) заклепки. Збільшення $\times 1000$ разів

Таким чином, в результаті проведених досліджень не виявлено явних переваг жодного з типів використовуваних заклепок і тому витяжні та самопробивні заклепки будуть використані в подальшій роботі при створенні та випробуванні клеє-заклепувальних сполучень.

4.2. Дослідження впливу технологічних факторів на властивості клеє-заклепувального сполучення

Аналіз характеристик міцності клеє-заклепувальних сполучень з різними типами заклепок проводився відповідно до ОСТ 1.00872-77.У даній роботі

визначалася така характеристика клеє-заклепувальних сполучень, як максимальне навантаження зріз (зсув) з'єднання.

Для випробувань були виготовлені зразки з різними типами заклепок з клеєм і без, згідно ГОСТ 6996-66. Виготовлення зразків із клеєм здійснюється

строго за нормативно-технічною документацією на клей, згідно з якою зміщення по ширині при склеюванні двох половин зразка не повинно

перевищувати 0,5 мм; площа склеювання не повинна мати викривлень чи будь-яких інших дефектів. Надлишки клею та клейові потіки, як правило,

видаляються безпосередньо після склеювання і до затвердіння клею. Товщина клейового шва має відповідати вимогам нормативно-технічної документації

щодо застосування клею. Склеєні зразки витримують до випробування 12 годин при кімнатній температурі $23 \pm 1^\circ\text{C}$. У цій роботі випробування були проведені

на випробувальній розривній машині Tiratest 2300. Рухи затиску машини відбувалися зі швидкістю від 10 мм/хв. У табл. 4.1 наведено середні значення

руйнівного навантаження, отримані за 5 зразками.

Як видно з отриманих даних, міцність клеє-заклепувальних сполучень дуже трохи вище, ніж міцність заклепувальних. Для витяжного заклепки

збільшення міцності за рахунок використання клею становило лише 0,5%, а для самопробивної – 20%. Така велика різниця пояснюється великим розкидом

даних, що пов'язано з відмінностями у площі склеювання.

Таблиця 4.1.

Тип заклепки та заклепувального з'єднання	Середнє навантаження на розрив, Н
Без клею	
3 витяжним заклепуванням	2402
3 самопробивним заклепуванням	2462
3 клеєм	
3 витяжним заклепуванням та клеєм	2413
3 самопробивним заклепуванням та клеєм	2952

Після закінчення випробувань частини зруйнованих зразків візуально оглядалися і визначався характер пошкодження. Розрізняють три основні види руйнування клейових зразків: по площині склеювання, по клею та безпосередньо руйнування заклепок. Як видно з наведених фото зразків (рис. 4.5., рис. 4.6.), має місце адгезійно-когезійний вид руйнування сполучень, оскільки після зрізу заклепки клейовий шов залишився на двох сполучаємих поверхнях, хоча товщина клею на них різна. Такий характер руйнування є непрямим підтвердженням високої міцності адгезійної використовується клейового матеріалу.

Таким чином, на підставі проведених випробувань можна зробити висновок, що найбільшою міцністю на зсув мають з'єднання, виконані з використанням клею і самопробивної заклепки.

4.3. Дослідження міцності клеє-заклепувальних сполучень після витримки в агресивних середовищах

Стійкість клеє-заклепувальних сполучень до тривалого впливу агресивних середовищ визначали аналогічно стійкості клейових матеріалів (розділ 3.1.). Як агресивні середовища використовували воду, машинну оливу і 5% водний розчин NaCl (аналог антижелезедного реагенту). Використання як агресивне середовище антижелезедного реагенту дозволяє прогнозувати поведінку клеє-заклепувальних сполучень у зимовий період часу.

Витримку клеє-заклепувальних зразків проводили за кімнатної температури протягом 3 місяців. Стійкість оцінювалася за величиною коефіцієнта збереження властивостей (табл. 4.2).

Таблиця 4.2.

Значення коефіцієнтів збереження властивостей

Марки клеїв	Після витримки у воді	Після витримки в олії	Після витримки 5% водний розчин NaCl (аналог антижелезедного реагенту)
Самопробивне заклепування			
Летек	0,85	0,93	0,95
Теплак-2П	0,9	1	0,96
МС-1	0,87	0,95	1
ВК-9	0,95	1	1
К-300	0,98	1	1
Betamate-2096	1	1	1
Justant-PAK	0,85	0,93	1
Витяжна заклепка			
Летек	0,98	1	1
Теплак-2П	0,96	0,98	0,95
МС-1	0,96	0,97	1
ВК-9	1	1	1
К-300	1	1	1
Betamate-2096	1	1	1
Justant-PAK	1	1	1

Якщо порівняти отримані результати з аналогічними випробуваннями клейових сполучень (див. табл. 3.2), то видно, що міцність клеє-заклепувальних сполучень ще менше залежить від впливу води та машинної оливи, ніж міцність клейових сполучень.

РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ РЕМОНТУ АВТОМОБІЛЬНИХ КУЗОВІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ КЛЕЄ- ЗАКЛЕПУВАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

5.1. Розробка технології ремонту автомобільних кузовів із застосуванням клеє-заклепувальної технології

Послідовність технологічного процесу створення клеє-заклепувального сполучення в умовах авторемонтного виробництва з використанням клеїв-розплавів складається з наступних основних операцій (рис. 5.1):

- розмітка місць встановлення заклепок;
- підготовка під склеювання поверхонь, які підлягають клеїцці;
- свердління отворів під заклепки (при використанні витяжних заклепок);
- нанесення клею-розплаву;
- монтаж з'єднання;
- твердіння клею-розплаву;
- стяжка заклепувальних деталей;
- видалення клею-розплаву з отворів під заклепки (при використанні витяжних заклепок);
- клеїцця;
- механічне оброблення, видалення надлишків клею;
- контроль якості.

Розглянемо докладно особливості основних технологічних операцій технологічного процесу створення клеє-заклепувального з'єднання під час ремонту автомобільних кузовів.

Розмітка місць встановлення заклепок здійснюється на підставі розрахункових або регламентованих даних кроку між заклепками (див. розділ 2). Розмітку здійснюють із використанням спеціального маркера.

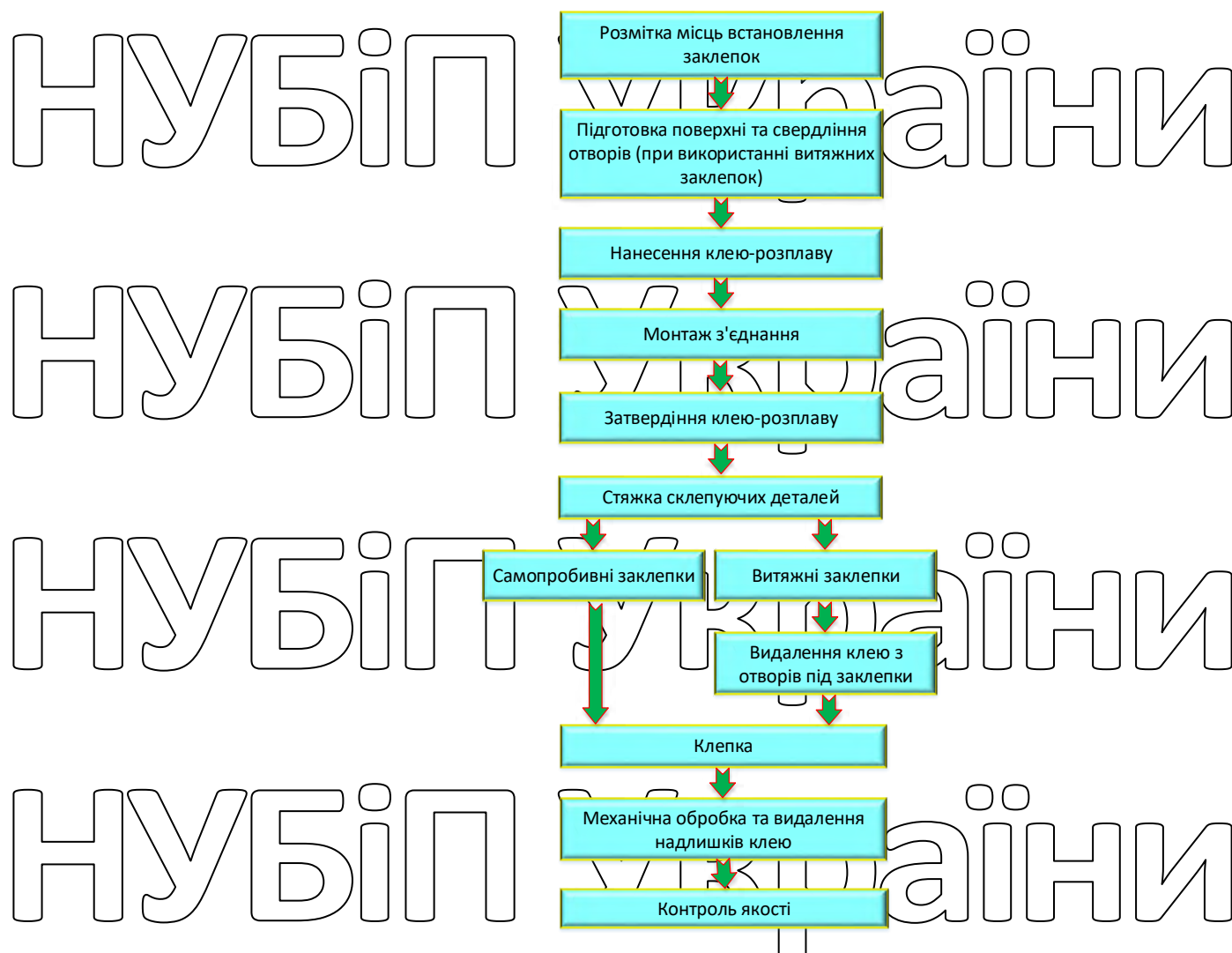


Рис. 5.1. Схема технологічного процесу створення клеє-заклепувального сполучення з використанням клеїв-розплавів

З'єднувальні поверхні, підлягають склеюванню і подальшому клепанню. Якщо це необхідно, очищають від іржі і бруду до металевого блиску (рис. 5.2.). Потім знежирюють їх розчинником або ацетоном.

При використанні витяжних заклепок виконується операція свердління отворів під заклепки. Якщо використовуються самопробивні заклепки, виключається операція попереднього свердління отворів. Свердління отворів можна виконувати як на початковому етапі (до склеювання поверхонь), так і після затвердіння клею-розплаву (але в цьому випадку висока ймовірність зменшення поверхонь). При свердлінні діаметр отвору має бути більшого діаметру, ніж діаметр стрижня заклепки. Також необхідно враховувати, що при зменшенні зазору, зменшується можливість вигину заклепок і покращується

якість завальцювання. Після закінчення свердління, при можливості, з внутрішньої поверхні отвору необхідно видалити задирки, утворені при свердлінні.

Далі на одну з поверхонь, що з'єднуються, деталей наносять клей-розплав, товщиною близько 2-5 мм. Клеї-розплави не вимагають приготування. Залежно від технології нанесення, клеї-розплави можуть випускатися у вигляді шпівок, порошку, гранул або брусків. Для механізації процесу нанесення клею-розплаву використовують ванни або аплікатори з поступальною подачею (ручні пістолети). Ванни забезпечують плавлення твердого клею в резервуарі та подальшу його подачу за допомогою дозуючого насоса до нагрітого сопла аплікатора. При використанні ручних пістолетів забезпечується безперервна подача твердого клею через нагріте сопло (профіль вихідного отвору сопла повинен відповідати потрібній ширині смуги).

При нанесенні клею та подальшому монтажі конструкції необхідно контролювати рівномірність товщини клейового шва. Через нерівномірні зазори між з'єднувальними поверхнями, утворюються непрочні. Також непрочні можуть виникати через наявність повітряних включень та пористості клейового шва, які утворюються при порушенні технологічного процесу склеювання. Крім того, навіть незначне порушення товщини клейового шва надалі призведе до відхилення заклепок від заданої осі.



а)

б)

в)

г)

Рис. 5.2. Фото нанесення клею:

а - ручний електричний будівельний фен; б - нагрівання поверхні для зчеплення клею з поверхнею при використанні сицих клеїв; в - склеювання; г -

готові з'єднання.

Після нанесення клею-розплаву поверхні з'єднують і витримують до попереднього твердіння клею-розплаву. Попереднє твердіння клею-розплаву відбувається при його охолодженні до кімнатної температури і займає 10-15 хвилин, залежно від марки клею-розплаву.

Після попереднього затвердіння клею деталі стягуються один з одним, що призводить до деформування і ущільнення проміжного шару з клею-розплаву і заповнення ним порожнини (при використанні витяжних заклепок) або зазору між заклепкою і пробитою нею стінкою отворів деталей (при використанні

самопроб). Далі витримують з'єднання до повного застигання клею-розплаву. Наявність проміжного шару з клею-розплаву між деталями не тільки додатково скріплює їх, підвищуючи міцність з'єднання та герметизує стик, а й додатково фіксує заклепки в деталях, що значно підвищує вібраційну стійкість з'єднання.

Після повного затвердіння клею з отворів видаляють клейовий матеріал і виконують операцію клепки з використанням самопробивних або витяжних заклепок (рис. 53). Власне, технологія клепки широко відома та детально описана багатьма фахівцями і немає необхідності приведення її в цій роботі.

У процесі стяжки та клепки зі стиків можливе видавлювання надлишків клейового матеріалу. Після повного затвердіння клею та встановлення заклепок надлишки клею видаляються механічним чином. При видаленні надлишків видавленого клею неприпустиме нагрівання поверхні, оскільки це може призвести до розплавлення клею між заклепками та його витікання.

Заключним етапом технологічного процесу створення клеє-заклепувального сполучення є контроль якості клеє-заклепування. Для контролю якості клеє-заклепувального сполучення застосовують такі способи: візуальний огляд; руйнування зразків (технологічна проба) та методи неруйнівного контролю.

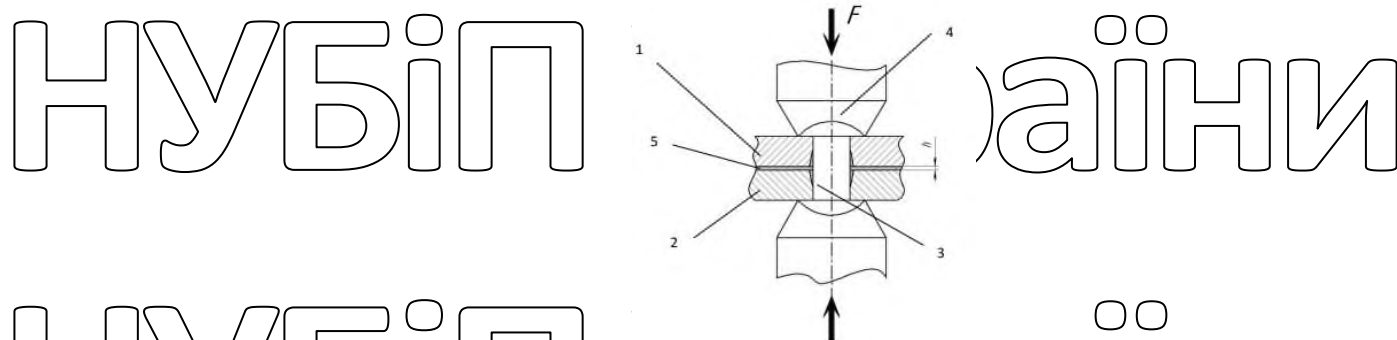


Рис. 5.3. Схема отримання клеє-заклепувального сполучення:

1, 2 - з'єднуючі деталі; 3 - заклепка; 4 - інструмент для встановлення

заклепок; 5 - клейовий шов завтовшки h

При візуальному огляді (неозброєним оком або з використанням лупи 2,5-7-кратного збільшення) перевіряють якість клейового шва, розташування заклепок, їх крок, завори між деталями, відсутність вм'ятин і перекосів.

На даному етапі важливо контролювати відсутність таких дефектів:

- зайве місцеве деформування склепуваних деталей, до яких відноситься прогин з'єднаних поверхонь при постановці заклепки, здуття металу під головками заклепок (даний дефект найчастіше виникає при клеєнні деталей з листового металу товщиною не менше 5 мм), вм'ятини на з'єднуючих деталях, і головках заклепок;

- не повна (мала) замикаюча головка;
- деформування (вигин) стрижня заклепки або його розплющування;
- нещільне прилягання замикаючої та заставної головок заклепки;

- порушення співвісності замикаючої та заставної головок заклепки, а також порушення співвісності отворів у деталях (відхилення заклепок від заданої осі);

- наявність непроклеїв або відшаровування клею (низька міцність адгезійна).

Розглянемо основні етапи ремонту автомобільних кузовів з використанням клеє-заклепувальної технології та способи контролю:

1. Підготовка поверхні.

На даному етапі відбувається процес очищення поверхні матеріалів, що

з'єднуються від старого ЛКП, бруду шалу і т.д. Використовується візуальний контроль. Контролюється відсутність забруднень на поверхні, наявність яких погіршує якість склеювання.

2. Припасування склеюваних деталей накету.

На даному етапі елементи майбутнього з'єднання прикладають один до одного для перевірки правильного положення елементів щодо один одного та витівки отворів під установку заклепок. Отвори роблять тільки у разі застосування витяжних заклепок, самопробивні заклепки не вимагають наявності отворів. Використовується візуальний контроль.

3. Свердління отворів під заклепки.

Застосовується візуальний контроль на відсутність стружки та правильну геометрію отвору. Неправильна геометрія отвору (наприклад, внаслідок нахилу осі свердла від осі свердління) може стати причиною утворення дефекту заклепувальної сполучення.

4. Приготування клею.

На етапі приготування клею важливо контролювати подану компонентів, оскільки навіть незначне перевищення кількості одного з компонентів над іншим може сильно вплинути на характеристики клею та клейової сполучення. При перемішуванні компонентів важливо контролювати, щоб не утворилося грудок або бульбашок повітря. Використовується візуальний контроль.

5. Нанесення клею

Застосовується візуальний контроль на відповідність клею основним параметрам та дотримання методики склеювання. Важливим параметром цього етапу є життєздатність готового клею.

6. Приладка елементів та встановлення заклепок.

На даному етапі відбувається процес отримання заклепувального з'єднання по неотверженому клею. Видавлені надлишки клею слід видалити до висихання, оскільки після висихання потрібно застосування сили та додаткового обладнання, що призведе до збільшення технологічного часу.

Використовується візуальний контроль на відповідність положення елементів (відсутність зрушень), відсутність дефектів при деформації заклепок та наявність клею по всій довжині шва.

7. Затвердіння клею.

Здійснюється контроль за дотриманням режимів затвердіння клею.

Для якісного клеє-заклепувального з'єднання характерна наявність рівномірного та бездефектного (не пористого) клейового шва між заклепками, розміщення заклепок по одній осі, точне позиціонування заклепки при установці в отвір, співвісність заставної та замикаючої головок. Аналіз

основних причин виникнення дефектів клеє-заклепувального сполучення та способів їх запобігання наведено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Типові дефекти при клеє-заклепуванні автомобільних кузовів в умовах авторемонтного виробництва, причини їх виникнення та способи запобігання

№ п/п	Найменування дефекту	Причина виникнення	Спосіб запобігання
1.	Прогин поверхні деталей, що з'єднуються.	Надмірне притискання деталей, діаметр стрижня заклепки більший за діаметр отвору (заклепка забивається з додатковим зусиллям)	Контроль зусилля монтажу та відповідності розмірів отворів діаметру стрижня заклепки
2.	Здуття металу під головками заклепок	Клепка вироблялася без осадження деталі на тяжкою	Осідання місць клепки на тяжкою
3.	Вм'ятини на деталях і головках з'єднувальних заклепок.	Неправильний вибір інструмента; неакуратна робота	Використання спеціального стискування
4.	Не повна (мала) замикаюча головка	Неправильний вибір заклепок (довжина стрижня заклепки менша за розрахункову)	Розрахунок оптимальної довжини стрижня заклепки та попереднє сортування заклепок за довжиною
5.	Деформування (вигин) стрижня заклепки	Занадто довгий стрижень або розбіжність осей заклепки та підтримки	Контроль за дотриманням геометричних розмірів заклепок згідно з розрахунками
6.	Розпліскування стрижня заклепки	Нещільне прилягання з'єднувальних деталей.	Контроль геометричних розмірів та щільне прилягання деталей.

7.	Нещільне прилягання замикаючої та закладної заклепки головок	Нещільна посадка головки під час клепки	Контроль якості прилягання головки; зачищення отворів від забруднень та стружки
8.	Неспіввісність замикаючої та заставної головок заклепки	Зміщення деталей до або під час клепки; нахил свердла під час свердління	Візуальний контроль під час свердління; забезпечення нерухомості склепуючих деталей.
9.	Відхилення заклепок від заданої осі	Нерівномірною товщина клейового шва; зміщення деталей при склеюванні	Попередня розмітка місць встановлення заклепок; забезпечення нерухомості з'єднувальних поверхонь
10.	Непроклеї	Нерівномірний (збільшений) зазор між з'єднувальними поверхнями; наявність повітряних включень та пористості клейового шва	Контролює геометричні розміри та щільне прилягання деталей; контроль товщини та рівномірності клейового шва, дотримання технології склеювання
11.	Низька адгезійна міцність	Наявність на склеюваній поверхні, забруднень; порушення режимів затвердіння клею	Якісна підготовка поверхні, дотримання температурних та часових режимів при нагріванні та охолодженні клею-розплаву

5.2. Рекомендації щодо застосування технології створення клеє-заклепувального з'єднань під час ремонту автомобільних кузовів

Великий вплив на якість та трудомісткість створення клеє-заклепувального з'єднань при ремонті автомобільних кузовів робить вибір інструменту.

Для встановлення заклепок необхідний спеціальний інструмент, який, фіксуючи тіло заклепки, простягає крізь неї стрижень, тим самим формуючи голку назад. Тип інструменту залежить від типу використовуваних заклепок (витяжні або самопробивні) і типу виробництва.

Для встановлення самопробивних заклепок при велико- та середньосерійному авторемонтному виробництві використовуються пресові клепальні установки. Особливостями даного інструменту є велика швидкість встановлення заклепок при роботі на поточкових лініях, високоточне позиціонування установки заклепок і, як наслідок, збільшення якості.

При дрібносерійному та одиничному авторемонтному виробництві для встановлення самопробивних заклепок використовуються ручні пневматичні заклепочники (рис. 5.4., рис. 5.5.). Особливостями даного інструменту є створення великого зусилля для формування заклепки, які замикають головки, чого при ручному методі добитися практично неможливо, висока мобільність використання з можливістю переміщення, що не вимагає постійного стаціонарного закріплення в цеху. Завдяки наявності утримуючого магніту в насадках інструмент можна використовувати в різних положеннях не хвилюючись про випадання заклепки. Головним недоліком є необхідність мобільного повітряного компресора або мережі стисненого повітря.

Для встановлення вигяжних заклепок, при велико- та середньосерійному авторемонтному виробництві, використовуються великі автоматичні конвеєрні заклепочники. Особливостями даного інструменту є безперервне отримання клеє-заклепувального з'єднань за умов потокового ремонту кузовів. Для цих пристроїв потрібні робітники з високою кваліфікацією, які постійно і дуже точно виконуватимуть налагодження та коригування даного обладнання.



а)



б)



в)



г)

Рис. 5.4. Фото ручного заклепочника для встановлення пресових (самопробивних) заклепок: а - загальний вигляд, б - прес, в - повітряний компресор з тиском 550 bar max, г - насадки для пресових заклепок різного діаметру

При дрібносерійному та одиничному авторемонтному виробництві для встановлення витяжних заклепок використовуються ручні заклепочники. Вони можуть бути пневматичними, електричними або чисто механічними від зусилля натискання на рукоятку. Особливостями даного інструменту є простота використання, мобільність, не потрібна спеціальна кваліфікація при використанні даного обладнання, широка доступність на ринку, мала ціна. В основному при використанні витяжних заклепок при ремонті автомобільних кузовів використовуються витяжні акумуляторні заклепочники (рис. 5.5.).



Рис. 5.5. Фото ручного акумуляторного заклепочника

Особливістю даного інструменту є значне зменшення фізичного навантаження працівника на відміну від механічного ручного заклепочника, автономне виконання клепальних робіт без підключення до електричної мережі або мережі стисненого повітря, висока доступність. Незалежно від типу використовуваного інструменту, механізм установки витяжної заклепки полягає в наступному: упираючись у буртик заклепки, вони захоплюють затискними губками її стрижень і, протягуючи головку стрижня крізь тіло заклепки, розширюють його, тим самим формуючи голівку зворотного.

5.3. Розробка способів демонтажу клеє-заклепувального з'єднань під час ремонту автомобільних кузовів

Демонтаж клеє-заклепувального з'єднань виготовлених з використанням традиційних епоксидних клеїв ускладнюється тим, що через високу міцність клею та відсутність термопластичності, потрібне застосування додаткового силового навантаження та використання додаткових інструментів. Через це

значно підвищується трудомісткість роботи з демонтажу. Так само в процесі демонтажу є можливість пошкодити з'єднувальні поверхні.

Демонтаж з'єднання, отриманого з використанням клеїв-розплавів, забезпечується за рахунок того, що при нагріванні термопластичні клеї-розплави переходять у рідкий стан і втрачають липкість [10].

Послідовність дій щодо демонтажу клеє-заклепувального з'єднань з клеями-розплавами виглядає наступним чином (рис. 5.6.): спочатку шов зачищається від бруду та лакофарбового покриття, якщо таке є. Потім заклепки

висвердлюються (як при демонтажі з'єднання заклепу) і проводиться нагрівання

шва з використанням будівельного фена до температури плавлення клею-розплаву (від 100 до 200°C). При нагріванні клей-розплав із твердого стану переходить у в'язкогекуче, і склеєні поверхні роз'єднуються без застосування навантаження.

Залишки розплавленого при нагріванні клею видаляються з поверхонь деталей ганчіркою. В результаті виходить акуратна та чиста поверхня, придатна для повторного склеювання та клепки.

Якщо після демонтажу планується повторна клебка даних елементів, то клей-розплав можна не видаляти з поверхонь і клеюклепку проводити з

використанням «старого» клею, який при нагріванні знову набуває липкості та здатності до затвердіння.

Аналіз типових дефектів, що виникають при демонтажі клеє-заклепувального сполучення, причин їх виникнення та способів запобігання наведено у табл. 5.2.

Таблиця 5.2
Типові дефекти при демонтажі клеє-заклепувального сполучення, причини їх виникнення та способи запобігання

№ п/п	Найменування дефекту	Причина виникнення	Спосіб запобігання
-------	----------------------	--------------------	--------------------

1.	Перекіс заклепки	Діаметр отвору більше за необхідний	Необхідно правильно вибирати заклепку за діаметром отвору – заклепка повинна входити в отвір вільно, але не б'єватися. При демонтажі таке заклепування витягується косими ударами по стрижню заклепки.
2.	Вигин стрижня заклепки	Збільшений виліт стрижня заклепки	При демонтажі таке заклепування вибивається. Також можна попередньо вкоротити стрижень до необхідної довжини.
3.	Неповне видалення клею	Недостатнє нагрівання з'єднання; тривалий час між операцією нагрівання та видалення (клей знову твердне)	Для видалення надлишків клею-розплаву з'єднання необхідно нагріти до температури плавлення клею-розплаву і відразу видалити клейовий матеріал ганчір'ям. За наявності залишків клею можливе повторне нагрівання та видалення клею.

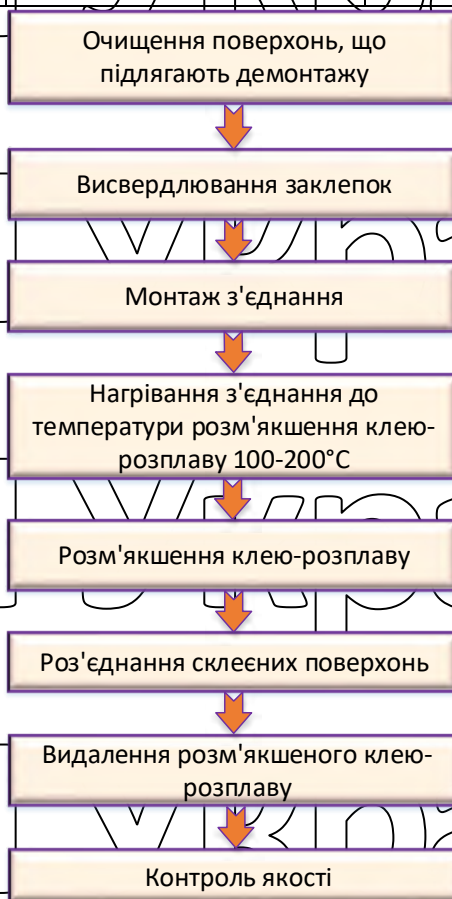


Рис. 5.6. Схема технологічного процесу демонтажу клеє-заклепувального сполучення, виготовлених з використанням клеїв-розплавів

Таким чином, при ремонті автомобільних кузовів на етапі демонтажу клеє-заклепувального з'єднань необхідно контролювати відсутність таких

дефектів:
 → перекис заклепки, що ускладнює демонтаж;
 → вигин стрижня заклепки (даний дефект найчастіше виникає при розклепуванні заклепок з невеликим діаметром стрижня - до 5 мм).

5.4. Оцінка техніко-економічної ефективності застосування клеє-заклепувальної технології при ремонті автомобільних кузовів в умовах автосервісного підприємства

Технологічний процес збирання є завершальним етапом ремонту автомобільних кузовів, на якому формуються основні показники якості виробів. Вклад клейової складової якості відновленого виробу виключно високий. Достатньо не забезпечити необхідний ступінь герметичності, і велика ймовірність передчасного виходу з експлуатації всього автомобіля.

Трудомісткість складальних операцій у авторемонтному виробництві становить близько 30% всієї трудомісткості ремонту виробів. З них 30% збирання сполучення з використанням кшювання та герметиків становить близько 1-2,5%, таким чином, склеювання не є основним видом збирання виробів авторемонтного виробництва. Разом з тим, при виготовленні багатопарових конструкцій клейова технологія складання є головною і за останні кілька десятиліть вона практично повністю витіснила зварювання та паяння, наприклад, виготовлення стільникових заповнювачів повністю здійснюється з використанням клейових технологій.

Чим вище точність виробів, тим менше використовується при їх складанні клейових матеріалів. Так, наприклад, при прецизійній збірці, де потрібно забезпечити точність сполучасних поверхонь 0,0005 мм і більше, клейові матеріали можуть бути використані тільки за наявності високоточного обладнання, що забезпечує фіксацію взаємного положення деталей із заданим ступенем точності. Крім цього, використання клейових матеріалів при прецизійному складанні обмежено також внаслідок деформацій клейового шва, що виникають, наприклад, у процесі його усадки. Прецизійне складання є

практично єдиною областю машинобудування, де застосування клейових технологій дуже обмежене.

Клейові матеріали широко використовуються при складанні мікромініатюрних деталей (наприклад, у приладобудуванні, де габаритні розміри деталей становлять $(1,5 \times 1,5 \times 0,3)10^{-3}$, маса яких становить $(3 \dots 8) 10^{-7}$ та великих виробів (прокатні стани, бурові установки тощо).

При розрахунку економічної ефективності ремонту деталі чи з'єднання основним показником є собівартість відновлення.

Якщо не брати до уваги собівартість деталі, то розрахунок собівартості відновлення складатиметься з вартості витратних матеріалів, що застосовуються під час ремонту.

У таблиці 5.3, наведено матеріали, що використовуються при створенні заклепувальних та клеє-заклепувального (з різними типами клеїв) з'єднань при ремонті автомобільних кузовів та їх вартість.

Проведемо порівняльний аналіз вартості застосування технологій клепки та клейоклепки з епоксидним клеєм та клеєм-розплавом на прикладі ремонту зовнішньої панелі даху автомобіля BMW 5 - серії F10. Згідно з ремонтною технікою, що використовується на технічній станції BMW, для ремонту

клею-розплавом використовують клей для кузова K5b 1 шт., Олишувач 1 шт. та пресове заклепування $\varnothing 4$ мм у кількості 14 шт.

Як порівняння розглядатиме клей-розплав Теплак-2П. Вартість ремонту клейкою з епоксидним клеєм K5b дорівнюватиме.

$$C_{m1} = 2055 \cdot 1 + 468 \cdot 1 + 14/50 \cdot 26,75 = 2530,50 \text{ грн.}$$

Вартість ремонту клейкою з клеєм-розплавом Теплак-2П буде рівна

$$C_{m2} = 87,5 \cdot 1 + 468 \cdot 1 + 14/50 \cdot 26,75 \approx 563 \text{ грн.}$$

Як можна помітити, різниця в собівартості установки одного такого елемента конструкції, як дах, при використанні клею-розплаву становить 563 гривні замість 2530,50 грн.

Таблиця 5.3.

Вартість матеріалів, що використовуються при клейоклепці в умовах

автосервісного підприємства

п/п №	Назва матеріалу	Кількість, шт.	Вага, р.	Ціна, грн.
1.	Глуха заклепка ø3.2мм	150	3	15,25
2.	Глуха заклепка ø4мм	150	6	26,75
3.	Пресова заклепка ø3.2мм	50	1	15,25
4.	Пресова заклепка ø4мм	50	2	26,75
5.	Спіральний свердло	1	8	498
6.	Спіральний свердло	1	29	498
7.	Пістолет для клею-розплаву	1	210	3885
8.	Епоксидний клей для кузова K5b	1	352	2055
9.	Набір форсунок SET MIT 2X10 ST	1	144	766
10.	Очищувач R1	1	79	468
11.	Шовний герметик	1	520	860
12.	Клей-розплав Теплак-2П	1	1000	250

Без застосування клею крок між заклепками збільшується в 2 рази, а значить і кількість заклепок зростає в 2 рази, але при цьому необхідно використовувати шовний герметик у кількості, що дорівнює кількості клею, для обробки шва для запобігання корозії в майбутньому, тоді

$$C_{m2} = 468 \cdot 1 + 195/310 \cdot 860 + 28/50 \cdot 26,75 = 1024 \text{ грн.}$$

Різниця у собівартості між методами різниться в рази та найменша з використанням клею-розплаву (рис. 5.7.).

Розрахунок часу для порівняльного аналізу трудомісткості клепаної та клеє-заклепувальної технології при ремонті автомобіля проводився при виготовленні зразків для кожної з технологій. Дані наведені у таблиці 5.4. Порівняльний аналіз трудомісткості показано на рис. 5.8.

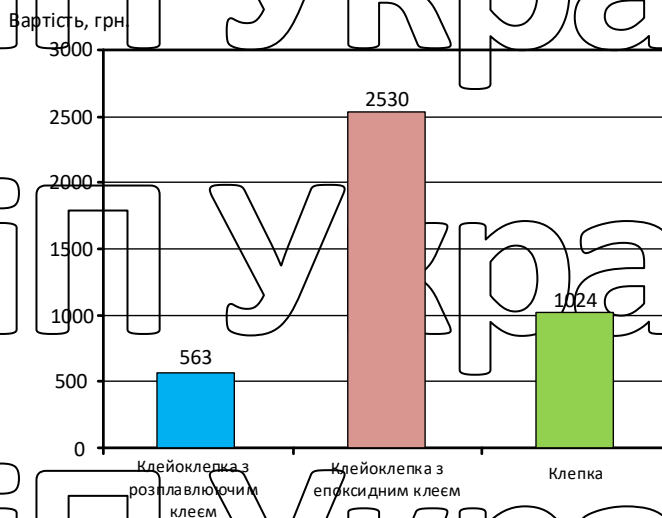


Рис. 5.7. Порівняльний аналіз вартості (грн.) заклепувальної та клеє-заклепувальної технології при ремонті автомобіля

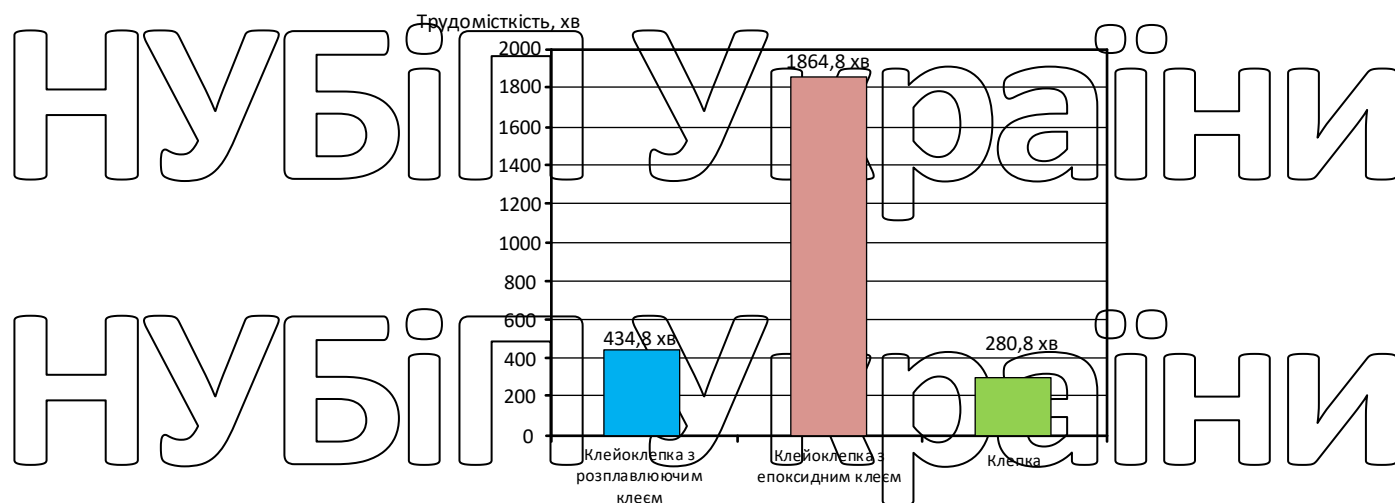


Рис. 5.8. Порівняльний аналіз трудомісткості (хв) заклепувальної та клеє-

заклепувальної технології при ремонті автомобіля

З таблиці 5.4 випливає, що найбільша трудомісткість отримання з'єднання спостерігається при застосуванні клеє-заклепувальної технології із

застосуванням епоксидного клею. Це з великими витратами часу на операцію

затвердіння клею. Клеї-розплави тверднуть значно швидше і не вимагають

тривалого простою автомобіля для подальшого переходу на наступну операцію.

Таблиця 5.4.

Дані для порівняльного аналізу трудомісткості монтажу при клепації та

клеє-заклепувальної технологіях

Зміст операції	Час, хв		
	Клепка	Клеювання з епоксидним клеєм	Клеювання з клеєм-розплавом
Підготовка поверхні	72	180	180
Нанесення клею	0	108	36
Встановлення заклепок в отвір	14,4	14,4	14,4
Стяжка деталей, що склеплюються, і утворення замикаючої головки.	86,4	86,4	86,4
Зняття надлишків клею	0	36	108
Затвердіння клею	0	10	1440
Нанесення шовного герметика	108	0	0
РАЗОМ:	280,8	1864,8	434,8

Характеристики клеє-заклепування, як було встановлено в другому розділі даної магістерської кваліфікаційної роботи, в деяких випадках вище, ніж при клепації в 1,2 рази. Крім того, використання клеє-заклепувальної

технології дозволяє істотно (в 2,8...3 рази) збільшити довговічність з'єднання.

Таблиця 5.5

Дані для порівняльного аналізу трудомісткості демонтажу при
заклепувальній та клеє-заклепувальній технологіях ремонту

Зміст операції	Час, хв		
	Клепка	Клеювання з епоксидним клеєм	Клеювання з клеєм-розплавом
Висвердлювання заклепок	0,2	0,2	0,2
Нагрівання з'єднання	0	0,5	2
Поділ елементів з'єднання	0	0	1
Видалення залишків клею	0	1	3
РАЗОМ:	14,4	122,4	446,4

Різниця між трудомісткістю демонтажу цих технологій буде значною, оскільки клепка не потребує витрат на нагрівання клею та очищення, крім нагріву клею-розплаву не потрібно інших операцій, а демонтаж з епоксидним клеєм потребує значного застосування навантаження (рис. 5.9.).

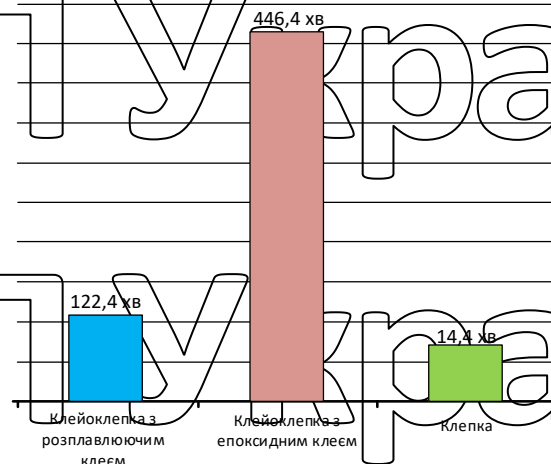


Рис. 5.9. Порівняльний аналіз трудомісткості демонтажу клепанної та

клеє-заклепувальної технології при ремонті автомобіля

З економічної точки зору клеє-заклепувальна технологія є більш дорогою, ніж традиційна клепка. Але збільшення вартості (без збільшення трудомісткості), дозволяє істотно збільшити ремонтпридатність, довговічність і характеристики з'єднань. При цьому заміщення традиційних епоксидних клеїв на клеї-розплави при клеє-заклепувальній технології дозволяє суттєво знизити вартість та трудомісткість ремонтних робіт.

ВИСНОВКИ

НУБІП України

1. В результаті виконаних досліджень розроблено технологічні процеси створення та демонтажу клеєклепанних з'єднань при ремонті автомобільних кузовів.

НУБІП України

2. Встановлено, що найперспективнішими матеріалами для створення клеє-заклепувальних з'єднань при ремонті автомобільних кузовів є термопластичні клеї-розплави, використання яких дозволяє забезпечити демонтаж клеє-заклепувальних з'єднань. Розроблено критерії вибору

НУБІП України

полімерного матеріалу для створення клеє-заклепувального сполучення.

3. Розроблено математичні моделі, що дозволяють оцінювати кінетику процесів змочування клеями поверхонь деталей, що підлягають заклепуванню, які відрізняються врахуванням реологічних властивостей клеїв та якістю

НУБІП України

поверхні субстратів. Встановлено, що використання клеє-заклепувальної технології при ремонті автомобільних кузовів замість клепки дозволяє знизити вплив зовнішніх навантажень на стрижень заклепки та забезпечити спільну деформацію стрижня заклепки та склепуваних деталей. Розроблено алгоритм

НУБІП України

формування конструкторсько-технологічного рішення при клеє-заклепувальній технології в умовах автосервісного підприємства, що включає етапи ідентифікації на мікро- та макрорівнях.

НУБІП України

4. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що стійкість клеїв-розплавів до впливу рідких середовищ нижче на 5-10%, ніж у епоксидних клеїв марок Betamate-2096, які традиційно використовуються при

НУБІП України

клеєвих методах ремонту автомобільних кузовів. За комплексом фізико-механічних показників найкращу стійкість показали клеї-розплави марок МС-1, а клеї марок Летек, Justant-РАК, Теплак-2П показали задовільні результати.

НУБІП України

5. Розглянуто два види клеє-заклепувального сполучення, виготовлених з використанням самопробивних та витяжних заклепок, визначено їх технологічні властивості та сфери застосування. Встановлено, що

НУБІП України

при заклепуванні з використанням самопробивної заклепки міцність клеє-

заклепувального з'єднання збільшується на 20%, а при заклепуванні з витяжним (сліпим) заклепуванням збільшення міцності становить не більше 5%. При використанні самопробивної заклепки та клею марки Тептакс-2П після витримки у воді міцність знизилася на 15%, після витримки в оливі на 3%. При витяжній клепаці цього ж клею після витримки у воді міцність клеє-заклепувального з'єднання знизилася лише на 2%, а після витримки в оливі не змінилася.

6. Розроблено технологічні рекомендації щодо впровадження клеє-заклепувальної технології при ремонті автомобільних кузовів залежно від типу виробництва та виду заклепок. Розглянуто способи запобігання типовим дефектам при подальшому монтажі склепаних деталей, для кожної технологічної операції розроблено режими, які дозволяють звести до мінімуму можливі технологічні дефекти. Впровадження розробленої технології при ремонті автомобільних кузовів дозволить підвищити їхню ремонтпридатність за рахунок забезпечення можливості демонтажу клеєсклепаних з'єднань.

7. Проведено порівняльний техніко-економічний аналіз ремонту автомобільних кузовів з використанням традиційного заклепування, клеє-заклепування з використанням епоксидного клею та клеє-заклепування з використанням клеїв-розплавів. Встановлено, що трудомісткість виготовлення клеє-заклепувального з'єднання з використанням клеїв-розплавів на 78% нижче, ніж при використанні традиційних епоксидних матеріалів, а трудомісткість демонтажу при використанні клеїв-розплавів нижче на 73%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стефан Х. Методи реконструкції аварії. Динаміка систем автомобіля. 2019. Том 47. Номер 8: С. 1049-1073. DOI: 10.1080/00423110903100440.

2. Після затвердження переліку науково-технічної та довідкової літератури, що рекомендується, яка використовується для проведення судових експертиз. 2010 р. № 1722/5. К., 2017. 94 с.

3. Ротштейн А., Ребедайло В., Кашканов А. Нечітко-логічна ідентифікація коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з поверхнею дороги. Доповіді та листи про нечіткі системи та П. 2017. 6(1-3), сторінки 53-64.

4. Ротштейн А., Кашканов А. Нечітка експертна система визначення коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям. Дії 6-ї, Аахен, Німеччина, 2018 р. с. 1735-1740.

5. Можливості використання спеціальних знань під час розслідування дорожньо-транспортних пригод/Авт.-сост. С.А. Шевцов. - Х.: СПД-ФО Чальцев О.В., 2015. 308 с.

6. Методи оцінки кінематичних та динамічних параметрів транспортних засобів при зіткненні з урахуванням деформації та руйнування (КНДІСЕ). К.: КНДІСЕ, 2015. 64 с.

7. Рекомендації щодо використання у практичній діяльності та оснащення пересувної автомобільної технічної лабораторії (позитивний досвід відділу автомобільних технічних оглядів та оціночної діяльності ІНДЕКТ МВС України в Харківській області з організації огляду місць пригод)). Київ:, 2016. 32 с.

8. Дячук В.І. Оцінка слідчими укладання автомобільного експерта як джерела доказів. Закон та безпека. 2014. № 1, с. 168-173.

9. Галак І.І. Характеристика мети та проведення технічної експертизи та її роль при розслідуванні дорожньо-транспортних пригод. Вісник Національного університету транспорту. 2016. Випуск. Двадцять шоста сторінка 84-88.

10. Трофименко Н. С. Питання, пов'язані з призначенням та проведенням окремих видів судових експертиз (за матеріалами узагальнення експертної практики). Серія: "Правильно". 2018. №1 (10). п. 107-112.

11. Туренко О.М., Сараєв О.В. Оцінка ефективності гальмування транспортних засобів щодо дорожньо-транспортних пригод: монографія. Х.: ХНАДУ, 2015. 350 с.

12. Сараєв О.В. Метод оцінки ефективності гальмування транспортних засобів щодо дорожньо-транспортних пригод: дис. ...Доктор. ті. вчений Харків: ХНАДУ, 2016. 418 с.

13. Датський С.В. Оцінка параметрів руху транспортних засобів під час реконструкції дорожньо-транспортної пригоди: дис. ...І. ті. вчений Харків: ХНАДУ, 2018. 321 с.

14. Технічний посібник CRASH-3. Міністерство транспорту США. Національне управління безпекою дорожнього руху. Відділ розслідування нещасних випадків Національного центру статистики та аналізу, 2016.

15. Кліфф В.Є., Мозер А. Реконструкція двадцяти покрокових колізій за допомогою оптимізатора PC-Crash. Документ SAE №2001-01-05-07.

16. Сараєв О.В. Нові технології вивчення причин дорожньо-транспортних пригод. Вісник Національного університету транспорту. 2013. Випуск. Двадцять восьма сторінка 405-414.

17. Використання комп'ютерної програми КАРАТ-3 під час проведення технічних оглядів автомобілів: К.: ДНДКЦ МВС України, 2016. 40 с.

18. Зона САІР. Веб сайт. URL-адреса: <http://www.cadzone.com> (Дата звернення: 26.09.2019).

19. Василевський О. М., Кучерук В. Ю., Володарський О. Т. Основи теорії невизначеності вимірів: навч. Вінниця: ВНТУ, 2015. 230 с.

20. Безпека дорожнього руху та деякі правові аспекти: Навчальний посібник. село МОН України / Кишун В.А., Кузнецов Р.М., Мурований І.С., Лаба О.В. Луцьк: РОІ ЛНТУ, 2021. 226 с.

21. Постраждав на дорозі. Всесвітня організація охорони здоров'я. Веб сайт. (Дата звернення 10.01.2018).

22. Статистика. Сайт патрульної поліції України. URL-адреса: <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/> (Дата звернення: 15.01.2020).

23. В Україні найвищий рівень смертності внаслідок ДТП у Європі (. URL-адреса: http://texty.org.ua/pg/news/textynewseditor/чтати/87057/V_Ukrajin_najvyshna_smertnist_vid_DTP (дата звернення 10.01.2018).

24. Правила дорожнього руху. Київ: Укрепецвидав, 2020. 64 с.

25. Статистичні дані про автомобільний транспорт. Сайт Міністерства інфраструктури України URL: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html> (станом на 10.05.2018).

26. Яким буде середній вік автопарку в Україні через 5 та 10 років?. URL: <https://auto.ria.com/news/autolaw/232129/kakoj-srednij-voznrast-avtoparka-budet-v-ukraine-через-5-i-10-let.html> (станом на 05.10.2018 р).

27. Інструкція про призначення та проведення судово-медичних експертиз. Наказ Міністерства юстиції України від 10.08.98 № 53/5 (у редакції Наказу Міністерства юстиції України від 26.12.2012 № 1950/5 із змінами № 1350/5 від 27.07.2015, № 1420/5 від 26:0

28. Науково-методичні рекомендації щодо підготовки та проведення судових експертиз та експертиз (у ред. наказу Міністерства юстиції України від 26 грудня 2012 р. № 1950/5, у ред. № 1350/5 від 27 липня, 2012). 2015).

29. Три тисячі смертей на рік: чи покращиться безпека дорожнього руху в Україні? Веб сайт. URL: <https://auto.ria.com/news/autolaw/236184/tri-tysyachi-smertej-ezhagodno-uluchshitsya-li-dorozhnaya-bezopasnost.html> (дата звернення: 10.08.2018).

30. Опубліковано статистику ДТП в Україні у 2018 році // Перший автоклуб Веб сайт. URL-адреса: <http://autonews.autoua.net/novosti/20627-opublikovana-statistika-dtp-v-ukraine-v-2018-godu.html#!> (Дата звернення: 08.05.2019).

31. Не за склом: стан дорожньо-транспортних пригод в Україні у 2017 році. Сайт. URL: <https://auto.ria.com/ru/news/autolaw/236137/ne-za-steklom-kak-obstoyal-dela-s-dtp-v-ukraine-v-2017-godu.html> (дата доступ 03.10.2018).

32. Затвердження стратегії щодо підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року. Законодавство України. Веб сайт. URL-

адреса: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/481-2017-%D1%80> (Дата звернення: 10.05.2018).

33. Рейтинг країн зі смертності від ДТП: Україна у першій десятці (інфографіка). Інформаційне агентство УНІАН. Веб сайт. URL-адреса: <https://www.unian.ua/society/2088789-reyting-krajin-za-rivnem-smertnosti-u-dtp-ukrajina-v-desyattsi-infografika.html> (дата звернення: 01.10.2018).

34. Кашканов А.А. Технології підвищення ефективності автомобільної технічної експертизи дорожньо-транспортних пригод: Вінницька монографія: ВНТУ, 2018. 160 с.

35. Методика зниження невизначеності у завданнях автомобільної технічної експертизи дорожньо-транспортних пригод щодо дальності видимості дорожніх об'єктів у темний час доби: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2010. 200 с.

36. Кашканов В.А., Ребедайло В.М., Кашканов А.А., Кужель В.П. Інтелектуальна технологія визначення коефіцієнта тертя за технічної експертизи автомобілів при дорожньо-транспортних пригодах: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2011. 128 с.

37. Кашканов А.А., Ребедайло В.М. Вплив фактора видимості на вибір безпечної швидкості руху автомобіля у нічний час. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2002. № 17. с. 62-66.

38. Кашканов А.А., Кужель В.П. Принципи та моделі оцінки ефективності автомобільних фар. Вимірювальні та комп'ютерні технології у технологічних процесах. 2002. № 2. с. 139-143.

39. Кашканов А.А., Хрещенецький В.Л., Біліченко В.В. Проектування та стан транспортних засобів у проблемі безпеки дорожнього руху. Методи системного управління, технології організації виробництва, ремонту та експлуатації автомобілів. 2003. Том. Сімнадцяті сторінки 62-65.

40. Кашканов А.А. Застосування нечіткої логіки в автоматизації автомобілів. Автомобільний транспорт. 2003. № 13. с. 58-61.

41. Кашканов А.А., Кужель В.П. Вплив сліпоти водія на вибір безпечних водійних режимів. Вісник Вінницького політехнічного інституту.

2003.

42. Канцанов А.А., Кужель В.П. Аналіз методів та засобів діагностування автомобільних фар. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2004. № 7 (77). Частина 1. с. 25-29

43. Довідник з передової практики реконструкції дорожньо-транспортних пригод, ENFSI-BPM-RAA-01, Версія 01 – листопад 2015 р. Європейська мережа інститутів судової експертизи. 21:00

44. Закон України "Про судову експертизу". Документ №4038-ХІІ. Поточна редакція від 7 листопада 2015 року: офіційний сайт Верховної Ради України URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/4038-12> (Дата звернення: 16 грудня 2015 р.).

45. Динаміка автомобіля Jazar RN: теорія та застосування. Нью-Йорк: Springer, 2018. 1015 стор.

46. Peter Lugner. Vehicle dynamics of modern passenger cars. Vienna : CISM International Centre for Mechanical Sciences, 2019. 382 p.

47. Xiubin Zhang, Muhammad Mansoor Khan. Principles of intelligent automobiles. Shanghai : Shanghai Jiao Tong University Press, 2019. 286 p.

48. David Crolla. Encyclopedia of automotive engineering. New York : John Wiley & Sons, 2015. 2697 p.

49. Ansel C. Ugural. Mechanical design of machine components. Boca Raton : CRC Press, 2015. 1008 p.

50. 26. Joseph Katz. Automotive aerodynamics. New York : John Wiley & Sons, 2016. 611 p. 27. Masato Abe. Vehicle handling dynamics, theory and application. Waltham: Butterworth-Heinemann, 2015. 305 p.