

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Д.З.ШМАТКО**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ З ДИСЦИПЛІНИ  
**«ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ І РЕМОНТУ  
КУЗОВНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ»**

для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності  
274 «Автомобільний транспорт» за освітньо-професійною програмою  
«Автомобільний транспорт»

Затверджено редакційно-видавничою  
секцією науково-методичної ради ДДТУ  
« 17 » 09 2020 протокол № 5 »

м. Кам'янське

2020

Розповсюдження і тиражування без офіційного дозволу Дніпровського державного технічного університету заборонено

Конспект лекцій з дисципліни “Прогресивні технології відновлення і ремонту кузовних деталей автомобілів” для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» за освітньо-професійною програмою «Автомобільний транспорт» /Укл. к.т.н. Д.З.Шматко – Кам’янське : ДДТУ, 2020 р – 88 с.

Укладач: к.т.н., доц. Шматко Д.З.

Відповідальний за випуск: д.т.н., проф. Серeda Б.П.

Рецензент: к.т.н., доцент Білоус О.І.

Затверджено на засіданні кафедри  
“Автомобілі та автомобільне господарство”  
(протокол № 8 від 27.08. 2020

Коротка анотація видання. У конспекті лекцій розглянуті питання з технології ремонту кузовних деталей автомобілів в умовах сучасних автотранспортних підприємств. Також розглянута методика розробки математичного моделювання при дослідженні руйнівних процесів у кузовних деталях автомобілів. Наведені способи відновлення і ремонту кузовних деталей.

## ЗМІСТ

Блок змістових модулів 1. «Властивості матеріалів, які використовуються для відновлення і ремонту деталей» .....	4
Тема 1. Метали і неметалеві матеріали, які використовують при ремонті кузовних деталей .....	4
Тема 2. Механічні і технологічні властивості листових матеріалів для виготовлення і ремонту кузовних деталей автомобілів .....	12
2.1. Механічні властивості, які визначаються при іспиті листових металів на розтягання .....	12
2.2 Механічні і технологічні властивості листових матеріалів для виготовлення і ремонту кузовних деталей автомобілів .....	15
Тема 3. Дослідження зміни механічних властивостей деталей автомобілів у процесі їх експлуатації .....	27
Тема 4 Неруйнівні методи контролю механічних властивостей деталей автомобілів .....	35
4.1 Методи виявлення прихованих дефектів .....	38
Блок змістових модулів 2. «Математичне моделювання і оптимізація способів відновлення кузовних деталей автомобілів» .....	40
Тема 5 Математичне моделювання руйнівних процесів .....	40
5.1 Математичні моделі і граф процесів .....	40
5.2 Математичне описання процесів .....	46
Тема 6. Оптимізація способів відновлення кузовних деталей автомобілів .....	51
6.1 Вибір раціональних способів відновлення деталей .....	51
Тема 7. Способи відновлення кузовних деталей автомобілів .....	65
7.1 Правка механічним впливом .....	65
7.2 Правка з застосуванням нагрівання .....	67
7.3 Вирівнювання поверхонь у панелях за допомогою пластичних мас .....	69
7.4 Усунення ушкоджень у кузовах автомобілів зварюванням .....	75
7.5 Усунення ушкоджень у кузові автомобіля заміною негідних панелей ремонтними .....	81
7.6 Усунення ушкоджень в елементах каркасів автобусних кузовів .....	85
7.7 Ремонт кузовів автомобілів-самоскидів .....	85
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	87

## **Блок змістових модулів 1. «Властивості матеріалів, які використовуються для відновлення і ремонту деталей»**

### **Тема №1. Метали і неметалеві матеріали, які використовують при ремонті кузовних деталей**

До головних фізичних характеристик металів і сплавів відносять: щільність ( $\text{кг/м}^3$ ); коефіцієнт лінійного розширення ( $\alpha - 10^6 \text{ мм/(мм}^\circ\text{C)}$ ); температуру плавлення в градусах Цельсія і температурні точки фазових перетворень. Наведені фізичні характеристики в значній мірі визначають раціональні температурні режими плавки і термічної обробки металів і сплавів, їхні технологічні властивості.

Під технологічними характеристиками звичайно розуміють спроможність металів і сплавів піддаватися тим або іншим технологічним операціям із метою одержання деталей автомобілів із необхідними властивостями. До технологічних характеристик відносять рідину текучість, деформуємість, оброблюваність і ін. Стосовно до авторемонтних і автотранспортних підприємств найбільш практичне значення мають такі технологічні характеристики металів і сплавів, як зварюваність і механічна оброблюваність.

До зварювальних і наплавочних матеріалів відносяться: зварювальні, наплавочні, порошкові дроти; електроди; флюси; наплавочні порошки. У загальному випадку деталі з мало вуглецевих сталей зварюються добре, із середньо вуглецевих - задовільно, із високо вуглецевих - погано. З мало вуглецевих сталей виготовляються переважно тонколистові деталі кузовів, кабін, оперення, облицювань, що, незважаючи на малий зміст вуглецю, зварювати складно через небезпеку прожогу металу.

Особливості експлуатації автомобілів не дозволяють при розробці їхніх конструкцій з метою підвищення надійності і збільшення ресурсу йти по шляху збільшення перетинів, габаритних розмірів і маси деталей. Тому до матеріалів

кузовних деталей подаються високі вимоги. Вони повинні надійно забезпечувати статичну і динамічну тривкість виготовлених із них деталей, гарантувати високу зносостійкість (наприклад, нижній ярус автомобіля), а в ряді випадків забезпечити температурну і корозійну стійкість (наприклад, колекторно-вихлопний тракт).

Цим вимогам добре відповідають леговані сталі, проте вартість таких сталей набагато перевищує вартість мало вуглецевих сталей. Тому при виготовленні автомобільних кузовних деталей застосовуються низьколеговані сталі. Вони застосовуються в усіх випадках, коли це не викликає зниження надійності і ресурсу відповідних деталей, а отже, і тих агрегатів і вузлів, у конструкцію яких вони входять.

Пластична маса (пластмаса) - це матеріал, який є композицією полімеру або олігомеру з різноманітними інгредієнтами, що знаходяться при формуванні виробів у в'язко текучому або високо еластичному стані, а при експлуатації - у склообразному або кристалічному стані.

Полімер - це речовина, що характеризується багатократним повторенням одного або більш складових ланок, сполучених між собою в кількості, достатній для проявлення комплексу властивостей, які залишаються практично незмінними при додаванні або видаленні декількох складових ланок.

Олігомери - речовина, молекули якої містять складові ланки, сполучені одна з другою. Комплекс його властивостей змінюється при додаванні або видаленні одного або декількох складових ланок.

До головних груп інгредієнтів відносяться: наповнювачі, пластифікатори, стабілізатори, барвники, мастила, антистатики, антифрикційні добавки, отвердіння, пришвидшувачі отвердіння.

Полімери в залежності від їхньої будівлі і зовнішніх умов можуть знаходитися в двох фазових станах: аморфному і кристалічному.

Для нанесення покриттів на деталях, замазування вм'ятин і зварювальних швів на кабінах і деталях оперення автомобіля при ремонті використовується

термостійка маса для газопламеневого напилювання ТПФ-37 і маса для гарячого напилювання ПФН-12.

Докладні дані про пластмаси, які використовуються при відновленні і ремонті кузовних деталей, розглянуті в довіднику [1].

Клеї призначені для створення з різноманітних матеріалів нероз'ємних з'єднань, що в загальному вигляді складаються з двох з'єднуємих матеріалів (субстрати) і клейового прошарку (адгезиви) між ними. Спроможність клею з'єднувати окремі деталі обумовлена адгезією (злипання поверхонь двох різнорідних твердих або нетвердих тіл).

Клейові з'єднання мають ряд переваг у порівнянні з клепаними, зварювальними і болтовими з'єднаннями. Це дає можливість з'єднувати різнорідні матеріали; здійснювати більш рівномірний розподіл напруги у з'єднуємих елементах через відсутність отворів під болти і заклепки; вони мають атмосферну стійкість і корозійну стійкість. У ряду випадків клейові з'єднання забезпечують достатню герметичність конструкцій. Технологія склеювання в більшості випадків має відносну простоту, особливо при використанні клеїв холодного отвердіння. У деяких випадках склеювання можливе при знижених температурах навколишнього середовища і під водою.

Головними недоліками багатьох клеїв є низька теплостійкість, невисока тривкість клейових з'єднань при нерівномірному відриві (чутливість до високої концентрації напруги), необхідність у багатьох випадках здійснювати нагрівання при склеюванні.

Про адгезійні властивості клеїв судять за результатами механічних іспитів.

Сучасні клеї в більшості випадків являють собою композиції на основі високомолекулярних з'єднань і на основі олігомерів, які після склеювання деталей перетворюються в полімерний матеріал клейового прошарку.

Вибір клею визначається багатьма умовами і насамперед фізико-хімічними властивостями адгезиву і субстрату. Далі найбільш важливим фактором, що визначає вибір клею, є рівень напруги, який повинно витримувати клейове з'єднання. Тривкість клейового з'єднання залежить від виду

навантаження: рівномірний стиск; рівномірний відрив; зсув із стиском; зсув; нерівномірний відрив; відшаровування або розшаровування. Тому при виборі клею необхідно в першу чергу вирішувати питання як склеювати, а потім - чим склеювати.

При склеюванні необхідно строго дотримуватися вказівки по підготуванню поверхонь і нанесенню клею, а також режиму отвердіння, враховувати гарантійні терміни зберігання клею і його компонентів, вимоги техніки безпеки і чинної технічної документації.

Більшість застосовуваних клеїв мають низьку грузькість, потребують відкритої витримки при склеюванні; створення великого тиску з'єднуємих елементів і підвищення температури при отвердінні. В результаті цього такі матеріали знаходять обмежене застосування в ремонтному виробництві, і частіше застосовуються високо наповнені клейові композиції на основі олігомерів (епоксидних, поліефірних і ін.).

Клейові композиції використовуються для замазування вм'ятин, раковин, тріщин пробоїн на кузовних деталях автомобілів. Вм'ятини і раковини замазують після попереднього підготування поверхні деталі шляхом заповнення композицією із наступним її формуванням у незатвердженому стані.

При замазуванні тріщин і пір на поверхнях тонколистових деталей (радіатор, паливний бак, панелі кузова) композицію наносять на поверхню деталі рівним прошарком товщиною 1,5...2,0 мм або наклеюють склотканеву накладку. Крайки прошарку повинні бути скошені. Напливи композиції і стовщення крайок не припускаються. Нанесення композиції на зварювальні шви підвищує їхню герметичність.

У ремонтному виробництві найбільш широке поширення одержали клейові композиції на основі епоксидних олігомерів, що містять реакційно-спроможну епоксидну групу. За рахунок високої реакційної спроможності епоксидні групи легко вступають у різноманітні реакції приєднання з речовинами, що містять рухомий атом водню (феноли, спирти, аміни, кислоти і ін.).

Затвердіння бувають гарячого і холодного отвердіння. При ремонті кузовних деталей автомобіля застосовують отвердіння холодні.

Для зменшення тендітності епоксидні смоли пластифікують (вводять органічні сполуки - з'єднання вуглецю з іншими елементами) або модифікують складними ефірами, низькомолекулярними смолами, полісульфідами. Кількість введених пластифікаторів коливається в межах 5...30 % стосовно олігомеру.

Докладні дані про клеї, які використовуються при відновленні і ремонті кузовних деталей розглянуті в довіднику [1].

Лакофарбові матеріали. Лакофарбові покриття є одним із засобів захисту металів і сплавів від корозії і призначені для створення декоративних покриттів на деталях і агрегатах автомобілів. Лакофарбові покриття - це покриття, отримані нанесенням лакофарбового матеріалу на поверхню деталі з наступним формуванням плівки. Лакофарбові матеріали - це композиції, спроможні забезпечити формування покриттів, що володіють комплексом таких необхідних властивостей, як адгезія, водостійкість, механічна тривкість, захист металу, декоративні ефекти. Плівкоутворювачі - це лакофарбові матеріали, які являють собою полімери або олігомери, або їхні композиції, спроможні формувати на поверхні деталі плівки в результаті фізичних, хімічних або фізико-хімічних перетворень. У залежності від типу плівко утворювача висохла плівка може мати різноманітні властивості.

У залежності від складу і призначення лакофарбові матеріали (ЛКМ) підрозділяють на лаки, емалі, ґрунтовки і шпаклівки. *Лаками* називають розчини плівко утворювачів у розчинниках, що не містять пігментів і наповнювачів. Емалі, ґрунтовки і шпаклівки являють собою висококонцентровані суспензії пігментів і наповнювачів. *Пігментами* є пофарбовані речовини, нерозчинні в дисперсійних середовищах і спроможні утворювати з основами декоративні або декоративно-захисні покриття. *Наповнювачі* є природними або синтетичними матеріалами, нерозчинними в дисперсійних середовищах і барвною спроможністю.



*Емалі* на відміну від *лаків*, що складаються з розчинів плівко утворювачів в летучій рідині, включають пігменти, наповнювачі, пластифікатори й інші спеціальні компоненти, що забезпечують декоративні і механічні покриття, а також усталеність їх при експлуатації. На відміну від фарб емалі містять розчинники і меншу кількість пігментів і наповнювачів. У зв'язку з цим плівки емалей мають кращі декоративні властивості.

Для лакофарбових покриттів, призначених для захисту металів від корозії в атмосферних умовах, важливою характеристикою є проникність. Проникнення вологи через полімерні матеріали протікає по-різному. В одних випадках існують постійні зазори і пори, через які в головному проникають молекули води (фенолформальдегідні смоли, похідні полістиролу, поліетілена). В інших випадках зазори виникають короткочасно в результаті теплового прямування макромолекул (полімери типу каучуків).

У противокорозійному захисті металевих виробів із кожним роком набувають усе більшого значення інгібітори корозії, введені в лакофарбові матеріали.

*Алкидні лаки й емалі.* До алкидів відносяться гліфталеві і пентафталеві смоли, одержувані взаємодією відповідно гліцерину (трьохатомний спирт) або пентаеритриту (чотирьохатомний спирт) із фталевим ангідридом (з'єднання елементів із киснем, що утворюють при взаємодії з водою кислоту, наприклад,  $P_2O_5$  - фосфорний ангідрид).

Алкидні лаки готують розчиненням смол у розчинниках, а емалі являють собою суспензії пігментів в алкидних лаках, модифікованих додаванням рослинних масел. Покриття на основі алкидних смол мають високу атмосферну стійкість, еластичність, гарну адгезію поверхні пофарбованої деталі. До недоліків їх можна віднести тривалість сушіння при нормальній температурі, невисоку водо-і хімічну стійкість. При підвищеній температурі сушіння атмосферна стійкість алкидних покриттів значно підвищується. Висихання алкидних емалей складається з випару розчинника і подальшої поліконденсації смол з утворенням необоротної плівки. При температурі 18...22° С алкидні емалі

висихають протягом 24...48 годин. Підвищення температури скорочує час висихання, зміцнює покриття і робить його більш стійким до впливу палив, мінеральних масел і зовнішнього середовища.

Алкидні емалі і лаки можна завдавати всіма способами: пензлем, розпиленням, окунанням, обливанням, а також розпиленням у електричному.

Алкидно-стирольні емалі. їх виготовляють на основі алкидностирольної смоли - продукту сополімеризації стиролу й алкидної смоли з додаванням пластифікаторів і сикативу (сикативи - каталізатори, які пришвидшують «висихання» масел, із яких виготовляють фарби). Перед вжитком в емалі додають ще 3...5% сикативу № 63.

Алкидно-стирольні емалі мають гарну адгезію стосовно металів і дерева. Покриття з цих емалей стійки до впливу нафтопродуктів, слабких луг і сольових розчинів. Температурна стійкість емалей досягає 80° С.

*Фенольні емалі і лаки* готують на основі фенол формальдегідної смоли, що знаходиться в стадії процесу поліконденсації. Для модифікації емалей іноді додають рослинну олію. Фенольні емалі і лаки не модифіковані рослинними оліями, крупкі. Необоротні плівки фенольних емалей отримують при гарячому сушінні (180° С) протягом 0,5 год. Покриття мають високу твердість, атмосферну стійкість і стійкість до впливу палив і мінеральних масел.

Меламинні (меламиноалкидні) лаки й емалі (синтетичні лаки й емалі) виготовляють на основі сумішей меламиноформальдегідної і алкидної смол. Покриття утворюються за рахунок випару розчинників і отвердіння смол. Після витримки на повітрі протягом 10...20 хв. деталі піддають гарячому сушінню. Сушіння проводять при 100... 130° С протягом 0,5... 1 год. або з додаванням каталізатора (фосфорної або ортофосфорної кислоти) при 80...90° С протягом 0,5... 1 год. Після гарячого сушіння покриття з меламиноалкидних емалей одержує гарний глянець (його можна підсилити додатковим поліруванням), високу атмосферну стійкість, еластичність і твердість, стійкість до зміни температур у межах від - 40° до + 60°С, високу стійкість до впливу води, палив і масел.

Меламиноалкидні емалі можна наносити шляхом пневматичного розпилення в звичайній покрасочній камері, а також розпиленням в електростатичному полі.

*Мочевинні емалі* готують на основі мочевиноформальдегідних смол, що являють собою термореактивні смоли. Висихання покриттів із цих емалей відбувається за рахунок випару розчинника й отвердіння смол, для чого необхідне гаряче сушіння при температурі 120... 140°C. Покриття утворюються великої твердості з гарним глянцем і високою атмосферно -, бензо -, маслостійкістю.

Наносять мочевинні емалі розпиленням, окунанням, обливанням і розпиленням в електростатичному полі в два-три прошарки по гліфталеvim або фенольним ґрунтам.

Нітроцелюлозні лаки й емалі. Нітролаки являють собою розчин нітроцелюлози (колоксиліну) у розчиннику. Для зниження тендітності плівки в нітролак додають пластифікатор - звичайну касторову олію, а також алкидні смоли.

Для розчинення колоксиліну і розведення нітроемалей застосовують спеціальні розчинники і розріджувачі зі спиртів, ацетатів і ароматних вуглеводів.

Невелика розчинність колоксиліну в розчинниках обумовлює утворення при висиханні нітроемалей (нітролаків) тонких плівок, що для створення прошарку товщиною 75...125 мкм потребує багатократного фарбування (три-шість прошарків).

Висихання нітролаків і нітроемалей відбувається унаслідок випару летучих розчинників. Швидкість висихання нітроемалей навіть при кімнатних температурах дуже велика. При висиханні утворюється оборотна плівка, спроможна знову розчинятися в розчинниках. Швидкість висихання нітроемалей обумовлює використання їх при ремонті автомобілів.

Сикативи є каталізаторами окисної полімеризації висихаючих рослинних масел і оліф. Вони являють собою свинцеві, марганцеві й інші мила масних нафтонових або смоляних кислот. Для вжитку сикативи розводять

розріджувачами або оліями. Готові до вжитку сикативи є прозорими рідинами від жовтого до коричневого кольору.

### **Питання для самоконтролю**

1. Які головні фізичні характеристики металів?
2. Що таке олігомери?
3. Які переваги клейових з'єднань деталей автомобілів?
4. Які особливості лакофарбових покриттів кузовних деталей?

## **Тема №2 Механічні і технологічні властивості листових матеріалів для виготовлення і ремонту кузовних деталей автомобілів**

### **2.1. Механічні властивості, які визначаються при іспиті листових металів на розтягання**

Високі вимоги до якості листового прокату для виготовлення і ремонту деталей кузова автомобіля обумовлюють необхідність застосування сучасних методів контролю якості.

При контролі якості листової сталі встановлюється відповідність показників якості продукції вимогам стандартів і інших нормативних документів. Ці властивості листового прокату повинні відповідати нормативним вимогам як при створенні нового автомобіля на автозаводі, так і при його ремонті на авторемонтному підприємстві або станціях технічного обслуговування автомобілів (СТОА).

З усіх методів визначення механічних властивостей металів найкращі результати дають дослідження на розтягання, що дозволяє визначити характеристики міцності (межа текучості, межа тривкості й ін.), показники пластичності (відносне подовження і відносне звуження, коефіцієнт анізотропії). У таблиці 2.1 приведені характеристики механічних властивостей, які визначені при іспиті на розтягання.

Методи добору проб для механічних та технологічних іспитів, властивостей листової сталі надані в ДСТУ 7564-93. Відповідно до цього стандарту проби для іспиту на розтяг вирізують із середньої третини листа або рулонної смуги поперек напрямку прокатування. Проби від рулонної листової сталі відбираються на відстані не менше 1 м від кінця рулону.

Таблиця 2.1 - Характеристики механічних властивостей листової сталі, які визначають при іспиті на розтягання

Характеристики	Позначення
Границя текучості	$\sigma_T = P / F_0$ (1)
Границя міцності (опір розриванню)	$\sigma_B = P_{\max} / F_0$ (2)
Абсолютне подовження	$\nabla l = l_k - l_0$ (3)
Відносне подовження	$\delta = (l_k - l_0 / l_0) 100\%$ (4)
Рівномірне відносне подовження	$\delta = (l_{kp} - l_{op} / l_{op}) 100\%$ (5)
Відносне звуження перетину	$\psi = ((F_0 - F_k) / F_0) 100\%$ (6)
Істинне подовження	$\epsilon = \ln(l / l_0)$ (7)
	$\epsilon = \ln(1 + \delta)$ (8)
Показник зміцненості	$n = 1 + \delta_p$ (9)

Метод статичних іспитів на розтягання листів і стрічок товщиною менше 4,0 мм при температурі 15...30°C для визначення характеристик механічних властивостей установлений ГОСТ 11701-90.

Для іспиту на розтягання по ГОСТ 11701-90 застосовують зразки з початковою розрахунковою довжиною  $8b_0$  або  $4b_0$ , що відповідно іменуються довгими і короткими. Тут  $b_0$  - початкова розрахункова ширина поперечного перетину робочої частини зразка.

У стандартах на листову сталь для автомобілебудування (ГОСТ 9045-90 - тонколистовий прокат, ГОСТ 4041-91 - товстолистовий прокат) позначення відносного подовження супроводжуються відповідними індексами ( $S_4$ ,  $S_5$ ,  $6_0$ ). Ці індекси вказують, на якій розрахунковій довжині повинно визначатися

відносно подовження. Зразками товстолистого прокату в якості умовних позначень служать числа 5 і 10 ( $5_5$ ,  $5_{10}$ ), тонколистого прокату - 4 ( $5_4$ ).

Показники механічних властивостей, які наводяться в стандартах, звичайно вичерпуються приведеними. Проте важливими показниками, які використовуються при напружено-деформованому стані заготівлі при виготовленні деталі або її ремонті є: відношення  $\sigma_T / \sigma_y$ ; показник зміцнення її; показник нормальної анізотропії R.

У залежності від режимів прокатування і термічної обробки листових металів більшість із них мають анізотропні механічні властивості унаслідок тієї або іншої текстури, отриманої при прокатуванні.

Анізотропію або розходження властивостей у різноманітних напрямках прийнято характеризувати коефіцієнтом анізотропії, що представляє собою відношення логарифмічних деформацій по ширині і товщині плоского зразка при розтягу.

Для визначення показника анізотропії листового металу з нього вирізують три зразки: уздовж напрямку прокатування, поперек і під кутом  $45^\circ$ , досліджують їх на розтягання і визначають значення  $R_0$ ,  $R_{45}$  і  $R_{90}$ , по яких будують діаграму анізотропії даного металу. Коефіцієнт нормальної пластичної анізотропії змінюється в залежності від орієнтації зразка стосовно напрямку прокатування. Тому використовують його середній розмір

$$R = (R_0 + 2R_{45} + R_{90}) / 4.$$

Існує поняття ступені площинної анізотропії AR - це зміна анізотропії в різноманітних напрямках у площині листа

$$AR = (R_0 - 2R_{45} + R_{90}) / 2.$$

Розмір AR характеризує появу площинної анізотропії заготівлі (фестоноутворення). При негативних значеннях AR фестони з'являються під кутом  $45^\circ$  до напрямку прокатування. Зі збільшенням абсолютного значення AR схильність сталі до утворення фестонів зростає. При  $AR = 0$  - фестони відсутні.

Значення коефіцієнта деформаційного зміцнення  $n$  характеризує спроможність металу до розтяжного T10C, T11C, T12 до формування. Чим він вище, тим рівномірніше поширюється деформація по всій площині заготівлі. Показник  $n$  зміцнення функціонально пов'язаний із розміром рівномірного подовження  $\delta_p$  (10) при одноосному розтягу і залежить від орієнтації зразка стосовно напрямку прокатування. Тому, так само як і для коефіцієнта нормальної пластичної анізотропії, використовують його середній розмір

$$n = (n_0 + 2n_{45} + n_{90}) / 4.$$

Установлено [2], що оцінкою спроможності листового металу до пластичної формозміни є сполучення чотирьох показників:

- 1) рівномірного відносного подовження  $\delta_p$ ;
- 2) межі тривкості (критичної напруги)  $\sigma_y$ ;
- 3) коефіцієнта пластичної анізотропії  $K$ , який відображує розходження пластичних властивостей по товщині листа. Чим більше коефіцієнт анізотропії перевищує одиницю, тим більша спроможність металу до деформації;
- 4) коефіцієнта деформаційного зміцнення  $n$ .

## **2.2 Метали, які використовуються при виготовленні і ремонті кузовних деталей автомобілів**

Листовий металопрокат випускають у виді листа, рулону, смуги і стрічки. Умовно вважають листовий прокат товщиною менше 0,4 мм - особливо тонколистовим або жерстю; від 0,4 до 4,0 мм - тонколистовим; понад 4,0 мм - товстолистовим. Маркірування листових металів, технічні вимоги до них, правила приймання, упакування, транспортування, зберігання, методи іспитів і сортамент регламентуються державним стандартом або технічними умовами.

Стандарти на листовий прокат діляться на три групи: 1) стандарти на сортамент; 2) стандарти на сортамент і технічні вимоги; 3) стандарти на технічні умови (вимоги).

Прокат тонколистовий холоднокатаний із мало вуглецевої якісної сталі для холодного штампування (ГОСТ 9045-90) найбільше широко застосовується в автомобілебудуванні для виготовлення деталей кузова автомобілів і автобусів. Прокат поставляється в листах і рулонах. По спроможності до витяжки він підрозділяється на чотири категорії: ДОСВ - дуже особо складна витяжка,

ОСВ - особо складна витяжка, СВ - складна витяжка, ВГ - дуже глибока витяжка. По поверхні він розділяється на три групи: I - особо високої якості, II – високої якості, III - підвищеної якості. По стану поверхні - на три групи: глянцева - гл., матова - м., шорсткувата - ш. По точності прокатування - на дві групи: підвищеної точності - А, звичайної точності - Б.

Прокат виготовляють із мало вуглецевих якісних марок сталей 08Ю, 08пс, 08кп. Хімічний склад цих сталей поданий у таблиці 2.2, а механічні властивості - в таблиці 2.3.

Таблиця 2.2 - Хімічний склад мало вуглецевих якісних марок сталей.

Марка сталі	Масова доля елементів, %								
	Вуглець, не більше	Марганець	Сера	Фосфор	Алюміній	Кремній	Хром	Нікель	Мідь
	Не більше								
08Ю	0,07	0,20... 0,35	0,025	0,020	0,02... 0,07	0,01	0,03	0,06	0,06
08пс	0,09	0,20... 0,45	0,030	0,025	—	0,04	0,01	0,01	0,015
08кп	0,10	0,20... 0,40	0,030	0,025	—	0,03	0,01	0,01	0,015

Поверхня прокату повинна бути без полон, пухирів, вкатаних металевих часток, порізів, раскатаних забруднень і надривів, розшарувань і торцевих тріщин.



Тонколистовий прокат піддають іспитам на розтяг, пробі по Еріксену (ІЕ). Визначають твердість, мікроструктуру зерна фериту і структурно-вільного цементиту.

Таблиця 2.3 - Механічні властивості мало вуглецевих якісних марок сталей.

Категорія витяжки	Марка сталі	$\sigma_{\text{T}}$ , МПа	$\sigma_{\text{B}}$ , МПа	64, %, не менше при товщині, мм			HRB, не більше	Номер зерна фериту	Глибина лунки по Еріксену ІЕ, мм
				0,5...1,5	1,5...2,0	2,0...3,0			
досв	08Ю	190	260... 330	40	42	—	46	6	9,7...12,5
осв	08Ю	200	260... 330	36	40	—	46	7	9,4...12,4
св	08Ю	210	260... 360	34	38	—	48	8	9,2... 12,2
вг	08кп 08пс	270	260... 370	28	29	30	—	9	9,0...12,1

Заміна мало вуглецевої сталі сталлю з підвищеною межею текучості дозволяє значно зменшити товщину деталей. Використання сталей підвищеної тривкості призводить до зниження його маси від 12 до 15 %.

Місце сталей підвищеної тривкості (СПТ) у загальній масі листових холоднокатаних сталей оцінюється по діаграмі (рис. 2.1),

із котрої очевидно, що СПТ при тривкості на рівні сталей з утриманням вуглецю 0,20...0,30 % залишкове подовження при розірванні відповідає сталям 08Ю, 08пс, 08кп, спеціально призначеним для глибокої витяжки.

Прокат виготовляють із низьколегованих холоднокатаних марок СПТ 08ГСЮТ, 08ГСЮФ, 07ГСЮФ, 03ХГЮ й ін., хімічний склад яких поданий у таблиці 2.4.

Якщо класифікувати сталі, які використовуються для виготовлення і ремонту кузовних деталей автомобілів, по межі тривкості, то їхні характеристики можуть бути розподілені по класах (табл. 2.5).

Сталь із низьким відношенням межі текучості до межі тривкості відноситься до класу двофазних сталей. Ці сталі мають невисокі значення показника  $R$ , низьке відношення  $\sigma_T / \sigma_B$  і вигідно відрізняються пластичними властивостями. Вони мають високу зміцненість і часто використовуються для виготовлення елементів безпеки кузова.

Таблиця 2.4 - Хімічний склад холоднокатаних низьколегованих марок сталей

Марка сталі	Масова доля елементів, %, не більше										
	C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	Cr	Ni	Cu	V
08ГСЮТ	0,09	0,3... 0,6	0,7 1,1	0,03	0,03	0,02... 0,08	0,02... 0,07	0,10	0,10	0,15	-
08ГСЮФ	0,09	0,3... 0,6	0,7 1,1	0,03	0,03	-	0,02... 0,07	0,10	0,10	0,15	0,02...0, 08
07ГСЮФ	0,08	0,2... 0,6	0,6. 0,9	0,03	0,03	-	0,03... 0,08	0,30	0,30	0,30	0,02... 0,06
ОЗХГЮ	0,05	0,025	1,1... 1,4	0,03	0,03	-	0,02... 0,07	0,3- 0,6	-	-	-

Таблиця 2.5 - Механічні властивості холоднокатаних низьколегованих марок сталей

Марка сталі	Товщина, мм	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T / \sigma_B$	$\delta$ , %	nR <sub>B</sub>	R	П	IE, мм	Номер зерна
08ГСЮФ	0,8... 2,0	>294	>392	0,66... 0,74	28	55... 72	1,1... 1,4	0,16... 0,22	9,8... 12,2	8;9
08ГСЮТ	0,7... 3,0	>343	>441	0,66... 0,74	28	55... 74	1,1... 1,4	0,16... 0,22	9,8... 12,2	8;9
08ГСЮФ	1,0... 2,0	>294	<440	-	26	50... 60	-	-	-	8;9
ОЗХГЮ	0,7... 2,0	290... 305	450... 460	0,50... 0,53	32... 33	50... 60	1,1... 1,4	0,19... 0,24	11,0 ...12	8;9

Сталі для глибокої витяжки, додатково леговані Ti, V або іншими елементами з високими значеннями показника R, застосовуються для виготовлення деталей складної форми.

Тривкість сталі підвищується зі збільшенням утримання вуглецю, уведенням легуючих елементів, що зміцнюють сталь, а також застосуванням різноманітних термообробок.

Збільшення утримання вуглецю призводить до значного підвищення тривкості з одночасним зниженням пластичності. У міру збільшення утримання вуглецю погіршується зварюваність сталі за рахунок схильності до загартування.

У якості способів підвищення характеристик міцності холоднокатаних листових сталей розглянемо такі: зміцнення утворення твердих розчинів; дисперсійне зміцнення; зміцнення здрібнюванням зерна (зерно граничне зміцнення); зміцнення другої структурної складової; зміцнення пластичної складової.

Звичайно в сталях аналізованого класу реалізується відразу декілька механізмів зміцнення. Проява переважного механізму зміцнення залежить як від хімічного складу сталі, так і від технологічних параметрів її виготовлення.

Стандартні механічні властивості: тимчасовий опір розірванню (межа тривкості)  $\sigma_b$ , МПа; межа текучості  $\sigma_t$ , МПа; відносне подовження  $\delta_4$ , %, є обов'язковою (а в більшості випадків і єдиною) вихідною інформацією, на підставі котрої здійснюється оцінка штампуємістості листової сталі. Очевидно, що першим критерієм при виборі СПТ є мінімальна втрата пластичності (відносного подовження) на одиницю приросту тривкості.

Зміцнення сталі утворенням твердих розчинів. Найбільш доступними і широко застосовуваними легуючими елементами, що зміцнюють сталь по механізму твердо розчинного зміцнення фериту, є марганець і кремній. Найбільш поширене легування марганцем. Проте легування кремнієм має свої переваги. Однакове з впливом марганцю підвищення тривкості досягається при

меншому зниженні пластичності. При цьому дія кремнію приблизно в 1.. 2 рази більша, ніж марганцю.

Сталі, леговані марганцем і кремнієм (наприклад 09Г2С), знайшли широке застосування в будівництві. Проте їхня пластичність невисока, а при великому утриманні легуючих елементів істотно погіршується її зварюваність, особливо при крапковому зварюванні. Ці сталі схильні до високого зміцнення при штампуванні. З цієї причини в сталях для автомобілебудування зміст марганцю і кремнію при спільному застосуванні не повинен бути більше 1,2 і 0,6 %, а одного марганцю - 1,5... 1,8 %. Слід зазначити, що при низькій температурі прокатування таких сталей можна одержати дрібне зерно, що підвищує і тривкість, і пластичність.

Іншим елементом, що зміцнює твердий розчин, є фосфор (до 1 %). Проте його застосування повинно сполучатися з глибоким розкисленням сталі іншими елементами із високою чистотою сталі по домішках. Крім того, не бажано застосування фосфору в металургії, оскільки для більшості типів сталей, забруднення фосфором плавильних агрегатів і шихти може мати негативне значення. За рубежом, проте, одержали поширення холоднокатані сталі з підвищеним утриманням фосфору. Головною перевагою сталей із фосфором є високий рівень нормальної пластичної анізотропії R (різниця у властивостях уздовж і поперек напрямку прокату листа металу).

Азот утворює твердий розчин. Його використовують для одержання холоднокатаного листа з межею текучості 350 МПа. При цьому сталі одержують додатковий приріст тривкості після деформації в процесі штампування і наступного сушіння. Недоліками сталей з азотом є низьке подовження і високий темп природного старіння.

Дисперсійне зміцнення - ступінь роздрібнення речовини на частки (чим менше частки, тим більше дисперсність). При введенні в сталь елементів, що карбонітридоутворюють (титан, ванадій, ніобій, мідь і ін.), забезпечується механізм дисперсійного зміцнення. Тобто відбувається взаємодія дислокацій (кристали металів, які мають ряд недосконалостей, структурні дефекти,

відхилення від правильної геометричної будівлі) із дрібними частками другої фази, що перешкоджає вільному прямуюванню дислокацій у сталі або сплаві.

Позитивний ефект досягається в результаті тонкого розподілу карбідів і карбидонітридів ванадію, ніобію, титана. Перетворення аустенита у ферит наприкінці або після гарячого прокатування при дотриманні температурного режиму дає максимальний ефект зміцнення і достатньо високу пластичність. Небезпека полягає в тому, що при зниженій температурі кінця прокатування анізотропія горячедеформованого металу зберігається при його охолодженні. Хоча висока тривкість і досягається, пластичність у поперечному напрямку прокатування падає, що утруднює наступне штампування деталей. Цей ефект можна зменшити, якщо в сталь увести більше алюмінію. Крім того для холоднокатаної сталі ефект дисперсійного твердіння значною мірою знижується при віджиганні (якщо температура вище  $700^{\circ}\text{C}$  і час віджигу більше 10... 12 год.). Тому сталі, що містять ніобій, ванадій, титан у холоднокатаному стані мають тривкість і текучість на 40...70 МПа меншу, ніж у гарячекатаному стані, а при високій температурі віджигу - на 70... 100 МПа.

Зміцнення здрибнюванням зерна. Цей механізм зміцнення в низько легованих холоднокатаних сталях у першу чергу реалізується при введенні в сталь мікро добавок (в кількості до 0,1 %) титана, ванадію, ніобію, іноді цирконію. Вступаючи у взаємодію з вуглецем і азотом, вони утворюють карбонітриди різноманітного ступеня дисперсності, які спроможні гальмувати процеси рекристалізації.

У відмінності від титана і ніобію, ванадій слабо впливає на процес рекристалізації гарячекатаного аустенита, оскільки він при цих температурах у головному знаходиться у твердому розчині. Найбільше здрибнювання зерна і відповідний ефект зміцнення досягаються при введенні ніобію. При цьому падіння величини відносного подовження складає біля 1,2 % на кожні 10 МПа приросту межі тривкості, тобто знаходиться на рівні твердо розчиненого зміцнення марганцем. Максимальна величина межі текучості в цілком рекристалізованих сталях із ванадієм складає 350...430 МПа. Для одержання

однакового по розміру зерна і відповідного зміцнення потрібно в 2...3 рази менше ніобію, чим ванадію.

Присутність ніобію і ванадію створює ріст аустенітного зерна при гарячому прокатуванні, який здійснюється за рахунок появи окислів і карбідів цих елементів. Центри кристалізації додатково здрібнюють зерно фериту при перетворенні аустенита. Ці елементи, а також алюміній підвищують поріг холодноламкості, запобігають появі площадки текучості і ліній ковзання. Для сталей, легованих елементами цієї групи, характерна висока температура нагрівання і порівняно висока ( $900^{\circ}\text{C}$ ) температура кінця прокатування. При цьому не з'являється крупне зерно. Наступне різке охолодження і низька ( $630\text{...}650^{\circ}\text{C}$ ) температура змотування рулону дозволяє одержати дрібнозернисту структуру з рівномірними властивостями. Після холодного прокатування й отжигу при температурі  $690\text{...}710^{\circ}\text{C}$  зерно залишається як і раніше дрібним. Його укрупнення і втрата тривкості досягаються тільки при температурі  $720\text{...}740^{\circ}\text{C}$  і тривалому часу отжигу (12...20 год.) при заданій температурі.

Зміцнення другої структурної складової. Вуглець у холоднокатаній сталі (звичайний зміст вуглецю в сталях, що штампуються, дорівнює біля 0,1 %) у головному знаходиться у виді структурно-вільного цементиту. Цементит (карбід заліза  $\text{Fe}_3\text{C}$ , що утворюється й утримується в залізних сплавах, сталях, чавунах) дуже твердий, хоча й зміцнює сталь, але сильно знижує її пластичність.

Незважаючи на низьке утримання вуглецю, (особливо при наявності у складі марганцю і молібдену, які збільшують спроможність сталі сприймати загартування на задану глибину), можна загартуванням із двохфазної феритно-аустенітної області одержати структуру, яка містить від 15 до 25 % мартенситу в м'якому фериті. Твердий високоміцний мартенсит (або продукти його неповного розпаду) зміцнює сталь до межі тривкості 500 МПа при низькій межі текучості (250...350 МПа). Таке сполучення властивостей припускає високу штампуємість сталі. Виробництво двохфазних феритно-мартенситних сталей (ДФМС) потребує спеціальних агрегатів безупинного нагрівання, загартування і відпускання. По своєму складу вони аналогічні іншим сталям, легованим

марганцем і кремнієм. Іноді в них додатково вводять хром і молібден для поліпшення загартування.

ДФМС одержують шляхом обробки стрічки в агрегатах без-зупинного отжигу, що включають до себе і гартівні устрої. Мікроструктура цих сталей являє собою ділянки мартенситу у феритної матриці. Можлива присутність залишкового аустеніту - твердого розчину одного або декількох елементів у залізі з гранецентрованою кубічною решіткою, нижнього бейніту - метастабільної структури, що складається з фериту з дисперсними карбідами). Наявність цієї другої фази є причиною головних особливостей ДФМС: відсутність площадки текучості на кривій розтягу; високий темп зміцнення при деформації; приріст тривкості при низькотемпературному (150...200°C) старінні [3].

ДФМС характеризуються більш високим розміром відносного подовження в порівнянні з низьколегованими сталями рівної тривкості, високим значенням  $n$  (чим показник зміцнення – вище тим вище штампуємість), низьким значенням  $\sigma_{0,2}/\sigma_T$  (чим воно нижче, тим вище штампуємість), а також низьким значенням  $R$ , близьким до 1. Збільшення показника нормальної пластичної анізотропії свідчить про більш високу штампуємість. Штампуємість ДФМС декілька вища, ніж у сталей з іншими механізмами зміцнення.

Зміцнення підвищенням щільності дислокацій (пластичною деформацією). найдешевшим способом підвищення щільності дислокацій є часткове зберігання наклепу в холоднокатаному листі шляхом його неповного В умовах України неповне віджигання не знаходить застосування через нестабільність одержуваних властивостей.

Другим способом підвищення щільності дислокацій є пластичне деформування відпаленого листа в процесі його додаткового прокатування (дресирування). При збільшенні ступеня деформації тривкість істотно зростає. Межа текучості, при деформації біля 10 % стає практично рівною тимчасовому опоріві розірванню. Проте при цьому відбувається різке падіння величині

відносного подовження біля 3,7 % на кожні 10 МПа приросту межі тривкості. Такі сталі неможливі для глибокої витяжки й обмежено придатні для гнучкості.

Ефект наклепу пропадає при зварюванні. Для широких листів і товстолистового прокату цей метод не використовується. Проте невелика холодна деформація (0,5...5 %) після віджигання холоднодеформованого листа дозволяє підвищити межі текучості і тривкості без втрати пластичності. Її обов'язково застосовують для холоднокатаного листа. Дресуванню з обтисненням 0,5... 1,5 % піддається вся листовая сталь типу 08. Для низьколегованих і особливо двофазних листових сталей доцільно збільшувати обтиснення до 1,5...3 %.

Важливим чинником є подовження сталей не тільки при штампуванні, але і при наступному зварюванні деталей. Істотно, що вони добре зварюються з мало вуглецевими сталями і між собою будь-якими методами зварювання. Проте сталі ДФМС, що дисперсійно твердіють, і особливо сталі, зміцнені підвищенням щільності дислокацій, у зоні шва утрачають свою зміцнену структуру. Найбільше використання мають сталі зі зміцненням твердого розчину, дисперсійно-зміцнені і сталі зі здрібненим зерном.

З аналізу можливих механізмів зміцнення випливає, що їхня реалізація з мінімальною втратою пластичності можлива, коли головними легуючими елементами є: марганець - до 2,0 %, кремній - до 1,55 %, ніобій - до 0,2 %, ванадій - до 0,2 %, титан - до 0,3 %, алюміній - до 0,1 % і їхні різноманітні комбінації, що реалізують зміцнення твердого розчину і здрібнювання зерна.

Утримання сірки, кисню в листових СПП небажано, як і в звичайній сталі 08Ю. Це потребує застосування десульфурації (видалення сірки хімічним способом) сталі або чавуна і глибокого вакуумування сталі до введення в неї розкислювачів.

Технологічно всі нові низьколеговані сталі для автомобілебудування виплавляються в конвертерах, мартенівських печах й електроступах. Гаряче прокатування повинне виконуватися із суворим контролем температур. Холодне прокатування й віджигання, а також нормалізація для вирівнювання структури і



властивостей гарячекатаного металу виконується в звичайних агрегатах по режимах, які близькі для інших сталей. Виняток має виробництво двохфазної сталі, яка потребує використання спеціальних агрегатів для безупинної термообробки стрічки.

Низьколеговані холоднокатані сталі підвищеної тривкості можна підрозділити на дві головні групи:

1) сталі підвищення характеристик міцності яких досягається без термічної обробки, коли технологія прокатування, віджигання і дресирування по головній схемі така ж, як і для сталі 08Ю;

2) сталі, що потребують термічного зміцнення, здебільшого з двохфазною структурою, у яких поряд із матрицею твердого  $\alpha$ -розчину є зменшення твердої фази (ці сталі потребують обов'язкове загартування й іноді наступне старіння і виготовляються в агрегатах безупинного віджигання).

Вимогам підвищеної тривкості зі зберіганням високої пластичності задовольняють розроблені для автомобілебудування низьколеговані сталі підвищеної тривкості і пластичності марки 08ГСЮТ, 08ГСЮФ, 07ГСЮФ і ін. Сталі, підвищені легуванням крім марганцю і кремнію мікро добавками титану і ванадію, мають зміцнений твердий розчин заліза і дроблене зерно фериту. Сталі типу 08ГСЮТ не старіють, що важливо при штампуванні лицевальних деталей, схильних фарбуванню. Пластичність цих сталей вище, чим сталі 08кп категорії витяжки ВГ. Вони близькі до пластичності сталі 08Ю категорії витяжки СВ.

До нового класу листових матеріалів відносяться ферито-мартенситні низьколеговані сталі високої штампуємості, скорочено названі двохфазними. Вони характеризуються унікальним сполученням тривкості і пластичності, низьким відношенням  $\sigma_T / \sigma_y$ , високим значенням рівномірного і загального подовження, високим показником деформаційного зміцнення. У двохфазних сталей мікроструктура складається із суміші фериту і мартенситу або нижнього бейніта. Розроблені способи одержання ферито-мартенситної структури з регламентованою кількістю мартенситу засновані на охолодженні сталі з між

критичного інтервалу температур після спеціального нагрівання або гарячого прокатування. У структурі дрібнозернистої феритної матриці переважають мартенситні острівки з високим утриманням вуглецю. Об'ємна частка аустенита залежить від температури нагрівання в між критичній, двофазній області і від утримання вуглецю в сталі. Перетворення отриманого аустенита в мартенсит, минаючи виділення перлита, забезпечує структуру сталі у виді суміші м'якого пластичного фериту і мартенситу, тривкість якого пропорційна в ньому вуглецю.

Одержання двофазних гарячекатаних сталей складається з гарячого прокатування листа зі значним (до 90 %) обтисненням аустенита, прискореного охолодження до заданих температур, змотування і дуже повільного охолодження зі швидкістю 16...42°C/год до кімнатної температури.

### **Питання для самоконтролю**

1. Назвіть характеристики механічних властивостей сталі при іспиті на розтягування.
2. Що таке ступінь площинної анізотропії?
3. Які метали використовуються при ремонті кузовних деталей?
4. Основні легуючі елементи листових сталей для виготовлення кузовів.

### Тема №3. Дослідження зміни механічних властивостей деталей автомобілів у процесі їх експлуатації

Задачею дослідження кузовних деталей автомобілів у процесі їх експлуатації може бути:

- зіставлення фактичних властивостей сталей після експлуатації (часовий період використання автомобіля) із заданими початковими властивостями за ДСТУ чи ТУ;

- визначення тих показників механічних властивостей, що не внесені в технічні умови, але визначають напружено деформаційний стан як споконвічного листа (при використанні листового прокату для виготовлення кузовної деталі автомобіля на автозаводі), так і листа, що пройшов визначений період експлуатації.

В остаточному підсумку результати дослідження повинні дати картину фактичних властивостей деталей із сталей, у яких визначений ресурс у процесі експлуатації.

Механічні характеристики сталей визначалися відповідно до вимог і рекомендацій, приведених вище.

За результатами іспитів будується діаграма  $\delta_4 = f(\sigma_B)$ , що показує зміну механічних характеристик у залежності від періоду, умов експлуатації тієї чи іншої деталі з відповідної сталі (рис.3.1).

З рис. 3.1 видно, що деталь під № 2 виготовлена з відповідної сталі після проходження відповідного кілометражу, утрачає свої механічні властивості.

Для оцінки рівня пластичності (штампуємості) поряд з характеристикою залишкового подовження при розриві ( $\delta_4$ ) стандартним іспитом використовують: видавлювання лунки по Еріксену; не стандартизовані іспити по Енгельгардту; коефіцієнті граничної деформації, розроблений в ДДТУ -  $K_{п.д}$

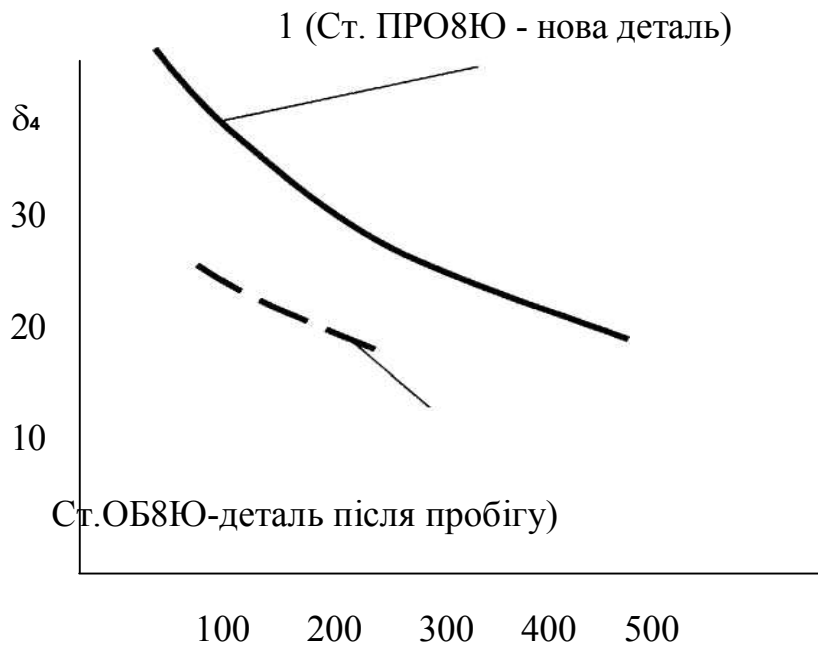


Рис. 3.1- Співвідношення  $\delta_4 = f(\sigma_B)$  у листовій сталі.

Іспит на витяжку лунки по Еріксену відповідно до ГОСТ 10510-90 використовується для оцінки штампуємості деталей з перевагою формування, тобто схема напруженого стану в очазі пластичної деформації - двохосьове розтягання (такі операції, як одержання кожуха фари автомобіля, різні ребра жорсткості у виді формувальних поглиблень і ін.).

Схема іспитів по способу Еріксена показана в таблиці 3.1.

При іспитах по Еріксену пластична деформація реалізується за рахунок зменшення товщини заготівлі в полюсі.

Метод полягає у формуванні сферичної лунки в затиснутому по контурі зразку за допомогою кульового пуансона діаметром 20мм.

Критерієм закінчення іспиту служить момент зменшення зусилля формування.

Критерієм оцінки штампуємості є глибина лунки (мм), позначена ІЕ (табл.3.1).

Заготівлею служить смуга шириною 80 мм. Зусилля притиску, що забезпечує відсутність прослизання заготівлі під притиском, дорівнює 10000...11000 Н.

Для визначення критерію штампуємості по способу Еріксена (ІЕ) необхідно змазану по обидві боки заготівлю (графіт + машинне масло) установити в матрицю іспитової машини моделі МТВ-10. Створити притиск і зробити формування лунки до моменту втрати стійкості (поява шийки), фіксуємого закінченням росту деформуючого зусилля.

Значення ІЕ записують в таблицю 3.2. Кратність іспитів дорівнює - 5. Оцінку якості металу роблять по меншому з отриманих результатів ІЕ. Користаючись класифікацією, відповідно до ГОСТ 16523-91, визначають групу витяжки даного листового металу.

Таблиця 3.2 - Результати іспитів на штампуємість листового металу по способу Еріксена.

Матеріал	$t_0$	$d_{II}$	$Q_{приж}$	$R_{\phi}$	ІЕ	Група ВИТЯЖКИ
	мм	мм	Н	Н	мм	

Однак відомо, що граничний стан визначається схемою напруженого і деформованого стану у очази пластичної деформації і величиною критичних напружень, що виникають у небезпечному перерізі. При витяжці очаз пластичної деформації у фланці і схема напруженого стану в ньому стисло-розтягнуті. При формуванні фланець не деформується. Схема напруженого стану у очази деформації - двохосьове розтягання. Тому поширювати пробу по Еріксену як на витяжку, так і на формування представляється невірним. Унаслідок цього з'являються нові способи оцінки листового металу і нові критерії, такі, як спосіб Енгельгардта й Гросса (стандарт ФРН-8715), спосіб Свіфта, спосіб Рудасьова. [4...7].

По способу Енгельгардта і Гросса визначаються критерії штампуємості згідно стандарту ФРН у виді фактора Т.

Даний вид іспиту поширюється для оцінки штампуємості деталей, одержуваних глибокою витяжкою циліндричної чи коробчастої форми, де схема напруженого стану у очазі пластичної деформації-стисло-розтягнута. Оцінка штампуємості листового металу в залежності від силових умов витяжки по цьому методі регламентована стандартом ФРН ТОБ-8715. Испити полягають у витяжці циліндричного ковпачка пуансоном діаметром 30 мм із радіусом заокруглення робочої крайки 4 мм із заготовки діаметром 52 мм до виникнення максимального зусилля витяжки  $P_v^{\max}$ . Потім фланець заготівлі жорстко зажимається притискним кільцем і пуансон, що продовжує свій рух, відриває дно, (фіксується зусилля відриву  $P_{отр}$ ). Критерієм оцінки штампуємості (фактор Т) є відносна різниця зусиль відриву дна і витяжки:

$$T = (P_{відр} - P_v^{\max}) / P_{відр},$$

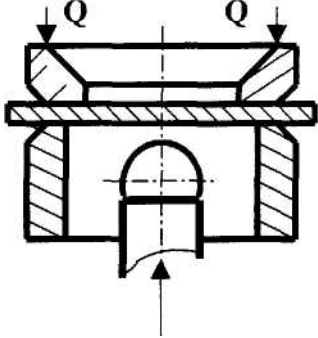
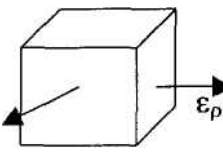
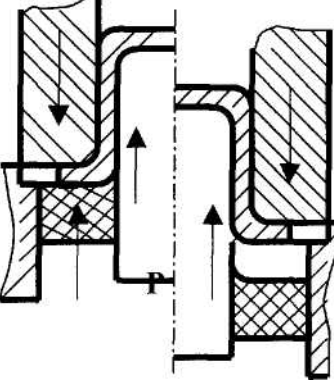
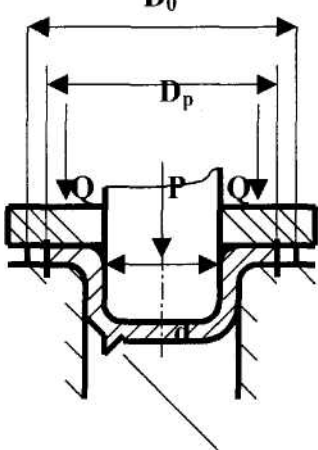
де  $P_v^{\max}$  - максимальне зусилля витяжки, Н;

$P_{відр}$  - зусилля відриву дна витягнутого стаканчика, Н.

Чим більше Т, тим краще штампуємість металу. Испити виконуються з постійним коефіцієнтом витяжки 0,577 в автоматичному режимі на іспитовій машині Т2Р. Ідея оцінки штампуємості у функції силових умов, виникаючих при витяжці циліндричного ковпачка (стаканчика), коштовна, оскільки співвідношення між зусиллям витяжки і відриву дна залежить від комплексу факторів, у тому числі від механічних характеристик металу й умов деформації.

Схема іспиту по способу Енгельгардта і Гросса представлена в таблиці 3.1. Испити проводять для трьох заготовок. Результати іспитів заносять у таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 - Способи технологічних іспитів тонколистового металу для оцінки виявлення придатності до глибокої витяжки.

Спосіб іспиту	Схема іспиту	Схема деформації	Критерій оцінки	Метод, прилад, машина
1. Іспит на глибину видавлювання сферичної лунки		<p>Двохосьове розтягання</p> 	<p>Глибина лунки у момент руйнування, ІЕ, мм</p>	<p>Ериксен (Німеччина); Гиллер і Персои (Франція); Ейвери (Англія); Ользен (США). ДСТ 10510-90. Машини ПТЛ, МТЛ-10М.</p>
2. Іспит на витяжку циліндричного стаканчика з наступним відривом дна		<p>Двохосьове розтягання і розтягання-стиск</p>	<p>Резерв пластичності N. Запас деформованості T</p>	<p>Енгельгард і Гросс (Німеччина).</p>
3. Іспит на витяжку циліндричного стаканчика з граничним коефіцієнтом витяжки.		<p>Двохосьове розтягання і розтягання-стиск</p>	<p>Коефіцієнт зсуву фланця у момент розриву (коефіцієнт граничної деформації)</p>	<p>Метод Рудасова В.Б. і інші</p>

Таблиця 3.3 - Результати іспитів на штампуємість листового металу по способу Енгельгардта і Гросса

Матеріал	t <sub>0</sub> мм	D <sub>заг</sub> мм	d <sub>п</sub> мм	К <sub>в</sub>	r <sub>п</sub> мм	r <sub>м</sub> мм	P <sub>вmax</sub>	P <sub>відр</sub>	Т
							Н	Н	
		52	30	0,577	4	4			
		52	30	0,577	4	4			
		52	30	0,577	4	4			

де d<sub>п</sub> - діаметр пуансона;

D<sub>заг</sub> - діаметр заготовки;

K<sub>в</sub> - коефіцієнт витяжки;

r<sub>п</sub>, r<sub>м</sub> - радіуси округлення робочих крайок пуансона і матриці;

t<sub>0</sub> - товщина листового металу.

Дані, записані в табл. 3.3, порівнюють з рекомендаціями досліджень [7,8], згідно яким для високої штампуємість деталей складної форми зі сталей категорії витяжки ВГ - ОСВ критерій штампуємість по способу Енгельгардта і Гросса (Т) повинний складати 48... 52 %

Для одержання експресності результатів штампуємість тонколистових сталей, застосовуваних для кузовних деталей автомобілів, як перед операцією формоутворення (одержання відповідної деталі), так і після ресурсного пробігу цієї деталі, співробітниками ДДТУ був розроблений новий спосіб визначення штампуємість за коефіцієнтом граничної деформації K<sub>п-д</sub> (схема іспиту представлена в табл. 2.1):

$$K_{п-д} = D_3 \setminus D_{\phi},$$

де D<sub>3</sub> - діаметр заготовки, мм;

D<sub>φ</sub> - середній діаметр фланця, що утворився в результаті неповної витяжки (до розриву) циліндричного стаканчика, мм.

Перевагами пропонованого методу оцінки штампуємість по K<sub>п-д</sub> є його експресність і великий ступінь об'єктивності. Необхідність усереднення діаметра визначається перекручуванням кругової форми фланця, що є проявом



нерівномірності деформацій, обумовленою анізотропією властивостей металу, різнотовщиністю вихідного листа.

З метою перевірки застосування нової методики визначення штампуємості листових матеріалів був установлений взаємозв'язок між запропонованим коефіцієнтом  $K_{п-д}$  і ступенем витяжки ДО, тому що останній широко використовується при розробці технологічних процесів і є довідковою характеристикою. За допомогою регресивного аналізу виведене рівняння регресії  $K_{п-д}$  по К у вигляді:

$$K_{п-д} = 1 / (1,0694 - 0,167 \cdot ДО^2).$$

Справедливість гіпотези адекватності рівняння регресії перевірена за критерієм Фішера при 5 % рівні значимості. Середня помилка апроксимації склала 0,031. Кореляційне відношення 0,756 говорить про досить високий зв'язок між  $K_{п-д}$  і К.

Визначення штампуємості сталі за допомогою коефіцієнта граничної деформації дозволить заощадити час і метал, тому що для розрахунку  $K_{п-д}$  необхідно мати заготовлі тільки одного діаметра. Цей діаметр був обраний максимально можливим для наявного устаткування і склав 115 мм. Для проведення експериментів можна використовувати листовий метал, починаючи з товщини 0,5 мм і закінчуючи 2,0 мм, охоплюючи практично весь ряд кузовних деталей автомобілів. При даних товщинах металу і  $O_3 = 115$  мм витяжка циліндричного стаканчика при будь-якій зусиллі притиску і будь-якому технологічному змащенню буде обов'язково не повною з розривом стаканчика, тобто витяжка йде до розриву. У результаті одержуємо розірваний стаканчик із фланцем (рис.3.2), середній діаметр якого дорівнює:

$$D_{ф} = (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) / 4,$$

де  $L_{1,2,3,4}$  - розміри заготовки (фланця) після іспиту.

При цьому внутрішній діаметр отриманого стаканчика дорівнює діаметру пуансона  $s_i = 50$  мм.

Знаючи величину  $B_3$  і  $O_{ф}$ , можна по формулі (2.2) знайти коефіцієнт граничної деформації  $K_{п-д}$ . З залежності (2.2) видно, що величина  $K_{п-д}$  залежить

від  $D\phi$ , тому що  $Vl = \text{const} = 115$  мм. Таким чином, фізичний зміст коефіцієнта граничної деформації полягає в тому, що чим більше його величина, тим більше перетяжка фланця з-під притиску в бічну циліндричну поверхню деталі, і відповідно, тим краще штампуємість матеріалу.

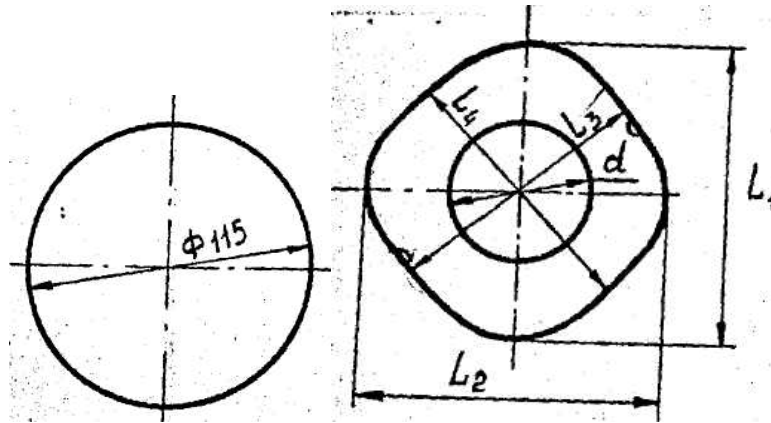


Рис. 3.2 - Заготівка "а" для іспиту по визначенню  $K_{п-д}$  і фланець, що вийшов після іспиту, з фестонами "б".

### Питання для самоконтролю

1. В чому полягає метод по Еріксену іспитів сталей?
2. Основні технологічні іспити тонколистових металів для оцінювання на глибоке витягування.
3. Методика визначення критерію штампування по методу Еріксену.

## **Тема №4 Неруйнівні методи контролю механічних властивостей деталей автомобілів**

В процесі капітального і поточного ремонту автомобілів важливе значення має дефектування деталей. Від цього залежить не тільки правильність обрання ефективного способу відновлення деталей автомобілів а і якість її відновлення. В теперішній час використовують методи контролю механічних властивостей деталей автомобілів, які призводять до пошкоджень їх поверхонь.

Тому розробка і використання неруйнівних методів контролю є важливим і своєчасним.

До ряду таких приборів відносяться магнітні структуроскопи, які призначені для неруйнівного контролю структурно-механічних властивостей поверхнього шару феромагнітних деталей автомобілів. В цих приборах використовується метод локального намагнічування і послідуочого вимірювання поля залишкової намагніченості, яка пропорційна коеруктивній силі матеріалу деталі, що залежить від його структури. Контроль деталей здійснюється при наявності експериментально встановленої кореляційної залежності між вимірюємою кореляційною залежністю між величиною, яка вимірюється і параметром, що контролюється (наприклад, HRC, HRB,  $\mu\text{H}$  деталі). Ця залежність встановлюється для кожного виду деталей автомобілів по зразкам, а потім визначаються границі відбраківки.

Конструкція перетворювача дозволяє вести контроль не тільки кузовних деталей а і безпосередньо на робочій поверхні зубців шестерень і коліс, на поверхнях циліндрів з діаметром є менше 60 мм, на внутрішніх поверхнях циліндрів з діаметром не менше 100 мм і інш.

Принцип дії цих приборів засновано на імпульсно-локальному методі, який має назву "метод точічного полюса". Сутність цього методу полягає в намагнічуванні контролюємої деталі полюсом постійного магніту або електромагніта розташованого нормально до поверхні і вимірювання величини поля за литкової намагніченості отриманого "пятна". В силу великого

размагніченого фактора "пятна" величина цього поля пропорційна коеруєтивній силі поверхнього шару контролюємої деталі.

Намагнічування здійснюється за допомогою малогабаритного соленоїда, який установлений на робочому торці перетворювача перпендикулярно поверхні деталі. При пропусканні через нього імпульсу току, соленоїд створює імпульсне магнітне поле напруженістю до  $2,5 \cdot 10^5$  А/м, яке локально і неоднорідно намагнічує "пятно" діаметром приблизно 10 мм на глибину до 1 мм. Величина поля залишкової намагніченості вимірюється диференціальним ферозондовим перетворювачем, сумісним з соленоїдом намагнічування.

Структуроскопи складаються з двох складових частин - перетворювача і електронного блока, які з'єднані між собою кабелями.

Конструкція перетворювача дає можливість виконувати вимірювання поля залишкової намагніченості на робочих поверхнях деталей автомобілів складної форми. На робочому торці перетворювача встановлено намагнічуючий соленоїд. В соленоїді співвісне з ним розташований вимірювальний полу зонд. Другий полу зонд, який є компенсаційним, винесено з намагнічуючого соленоїда і розташовано в стороні від контролюємої деталі. Це зроблено з ціллю підвищення захисту від перешкод шляхом компенсації впливу магнітних полів віддалених істочників. Обмотки полузондів включені по схемі градієнтміра: первинні - послідовно, вторинні - назустріч. З електронним блоком перетворювач з'єднується кабелем довжиною біля полутора метрів.

Склад прибору і взаємодія основних збірних одиниць пояснюється структурною схемою (рис. 4.1).

Прибор виконано по блочному варіанту і складається з :

- блока індикації (БУК);
- блока генератора (БГВ);
- блока перетворювача високовольтного (БПВ);
- блока зарядного устрою (БЗУ);
- блока керування (БК);
- блока функціонального перетворення (БФП);

- блока живлення (БЖ).

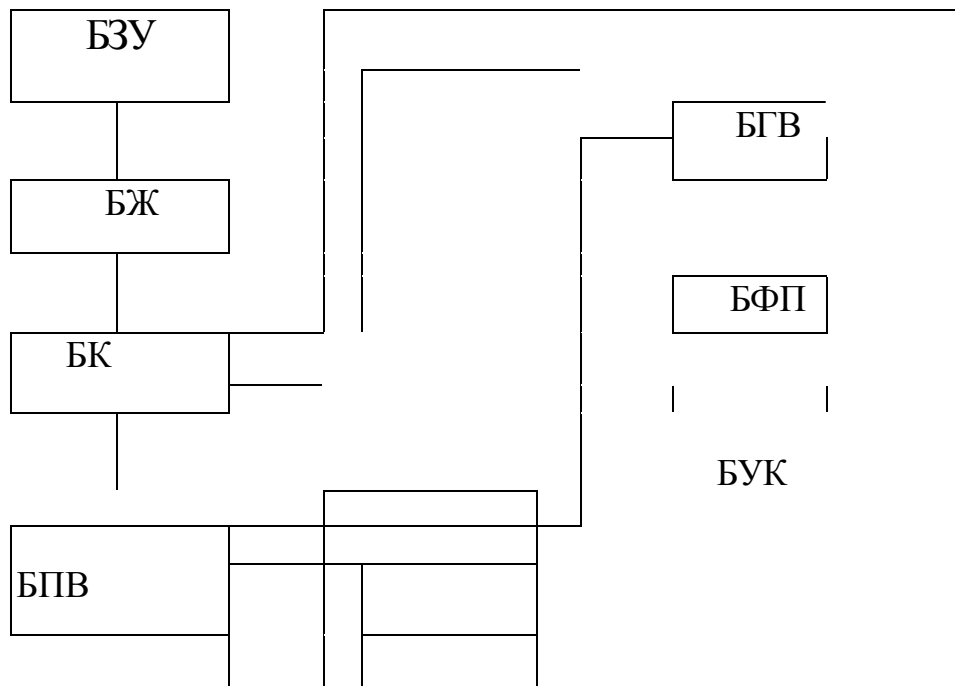


Рис. 4.1 - Структурна схема приладу.

В режимі "структуроскоп" блок керування виробляє сигнал включення блока перетворювача, через який заряджається накопичувальний конденсатор. Після закінчення заряду накопичувальний конденсатор через тиристорний ключ підключається до соленоїда, що намагнічує. Далі з блоку керування поступає сигнал на виключення блоку генератора, який живлює ферозондовий перетворювач. Потім включається блок функціонального перетворення і блок індикації, де виділяється друга гармоніка сигналу перетворювача, запам'ятовується її максимальне значення і результат виводиться на цифровий дисплей. Для виключення впливу розряду акумуляторної батареї живлення приладу здійснюється через стабілізований блок живлення.

В режимі "індикатор поля" відсутній заряд накопичувального конденсатора і намагнічування. Робочий цикл починається з вимірювання.

#### 4.1 Методи виявлення прихованих дефектів.

Для виявлення прихованих дефектів на автомобільних деталях використовують капілярний і магнітний методи.

Основне призначення капілярного метода - знаходження прихованих порушень поверхневих шарів деталей, які виготовлені з металів і неметалів. Капілярні методи дозволяють виявити шліфувальні, усталосні і термічні тріщини, волосовини, пористість і інші поверхневі дефекти.

Капілярні методи використовуються для деталей автомобілів будь-якої форми. Технологія капілярних методів включає наступні етапи: підготовку поверхні деталі до контролю; нанесення на поверхню деталі індикаторного пенетранта; видалення з поверхні деталі лишнього пенетранта; нанесення на поверхню деталі проявляючої речовини; розшифрування результатів контролю; видалення проявляючої речовини з поверхні деталі.

Апаратуру для капілярних методів контролю підрозділяють на три групи: переносну (дефектоскопи ДМК - 4; КД - 31Л; КД -32Л); стаціонарну (дефектоскопи ЛД - 2; ЛД - 4; КД - 21Л); спеціалізовану.

Електромагнітний метод дозволяє вирішити наступні задачі:

- визначити форму і розмір дефекту деталі;
- виявити поверхневі і під поверхневі тріщини, пустоти, неметалічні вклучення, міжкристалічну корозію;
- виявити правильність режимів термічної обробки деталей;
- виявити відхилення твердості.

Для цього використовують дефектоскопи ДНМ - 14 і ДНМ -500.

Дефектоскоп ДНМ - 15 призначений для контролю деталей з матеріалів електропровідністю 10-30 м/Дж. мм . Дефектоскоп дозволяє виявити тріщини глибиною не менше 0,15 мм, шириною від 2 мм і довжиною більше 4-5 мм.

### **Питання для самоконтролю**

1. Якій основний принцип дії магнітних структуро скопів?
2. Назвіть основні методи виявлення прихованих дефектів на автомобільних деталях.
3. У чому полягає технологія капілярних методів виявлення дефектів?
4. які задачі дозволяє вирішувати електромагнітний метод неруйнівного контролю?

## **Блок змістових модулів 2. «Математичне моделювання і оптимізація способів відновлення кузовних деталей автомобілів»**

### **Тема №5 Математичне моделювання руйнівних процесів**

#### **5.1 Математичні моделі і граф процесів**

Сучасний математичний апарат дозволяє математично моделювати самі складні процеси. Однак процеси, які пов'язані з ремонтом автомобілів, тільки останнім часом стали підлягати математичному моделюванню.

При цьому необхідно враховувати, що дійсно руйнівні процеси протікають не ізольовано, а завжди в деякій сукупності. Не всі фактори в цих процесах можуть бути враховані, та їх сполучення носить випадковий характер. Тому для моделювання використовується математичний апарат, який має випадкові величини і випадкові функції.

В дійсних умовах любе явище описують конкретним числом параметрів. Наприклад, деформації деталей мають в якості одного з параметрів ступінь деформації. Величина цього параметра обумовлюється дією таких факторів, як тиск, температура і ряд інших.

В загальному вигляді параметри і фактори руйнівних процесів, які виникають в процесі експлуатації, необхідно розглядати як елементи множини.

Математичне описання або побудова математичної моделі процесу здійснюється в знаходженні математичної залежності між параметрами і факторами явища. Математична модель процесу може мати любий вигляд математичної залежності, наприклад бути у вигляді рівняння любої степені, поліному і т. ін.

Явища, які пов'язані з руйнівними процесами, аналізують, використовуючи орієнтировочні кінцеві графи. В цьому випадку вершини можна розглядати як параметри, а ребра, як фактори.

Використання теорії графів дозволяє встановити іманентно присущий логічний зв'язок факторів і параметрів в складному явищі. Граф - це велика кількість елементів двох видів - вершин і ребер (або дуг). При цьому кожному

ребру відповідають дві вершини. Тобто дві вершини з'єднуються ребром або дугою і кожне ребро має тільки одне направлення - від однієї вершини до другої. Послідовність зчеплених ребер, яка дозволяє пройти від однієї вершини до другої, зветься шляхом. Шлях, початкова вершина якого співпадає з кінцевою, при цьому кожна вершина, за виключенням початкової, проходиться один раз і називається елементарним контуром або контуром нульового порядку. Два контури нульового порядку називають залежними, якщо вони мають хоча б одну спільну вершину, а в протилежному випадку вони незалежні. Сукупність всіх залежних контурів нульового порядку, які мають по крайній мірі одну загальну вершину, називають контуром першого порядку. Сукупність контурів першого порядку, які мають по крайній мірі один загальний контур нульового порядку, називають контуром другого порядку, і взагалі контур  $i$ -го порядку - це сукупність контурів  $j-1$ -го порядку, які мають по крайній мірі один загальний контур  $j-2$ -го порядку.

Два контури  $j$ -го порядку і  $K$ -го порядку ( $K < j$ ) називають залежними, якщо хоча б один контур  $j$ -го порядку входить в оба ці контури. В протилежному випадку ці контури незалежні. Необхідно розділяти незалежні і абсолютно незалежні контури. Незалежні контури можуть входити в один і той же контур більш високого порядку і бути зв'язаним друг з другом через які-небудь проміжні контури.

Абсолютно незалежні контури не можуть входити в один і той же контур більш високого порядку. Поняття контурів, поняття залежних, незалежних і абсолютно незалежних контурів важливо при аналізі складових явищ, складних реальних процесів, так як, використовуючи ці поняття, можна більш чітко описати характер і залежність більш простих елементарних процесів, які входять в складний процес. Так як розглядати які-небудь елементарні процеси як контури графа, то залежні контури будуть відбивати функціональні залежності, в тому числі і випадкового характеру, а незалежні контури - деякий кореляційний зв'язок цих процесів. Абсолютно незалежні контури відбивають відсутність залежності між елементарними процесами. Граф може бути заданий



аналітичним, геометричним або матричним способом. Геометричний спосіб описання графа показано на рис. 5.1.

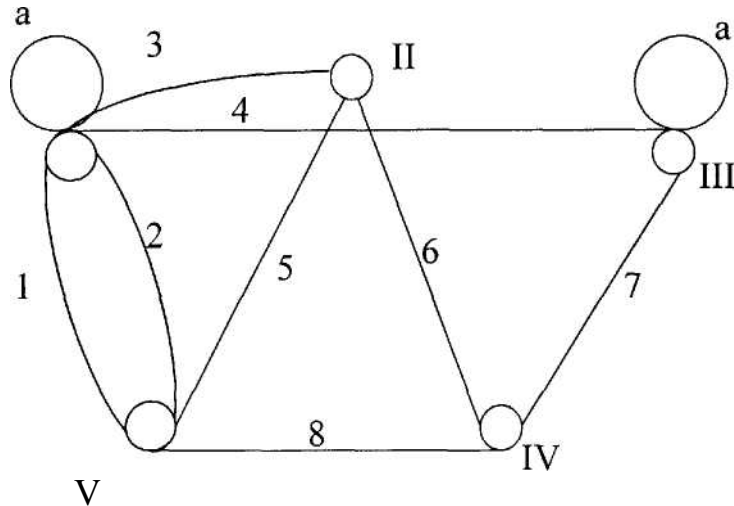


Рис. 5.1 - Кінцевий граф: I,II,III,IV,V - вершини; 1...8 - дуги; а - дуга, яка замикає вершину на себе.

Матричний спосіб побудови графа полягає в зображенні квадратичної матриці, елементи якої є нулі і одиниці. При цьому елементи матриці складаються по наступному правилу: елемент  $g_{ij}$ , який стоїть на перетині  $i$ -ї сторони і  $j$ -го столбця, дорівнює одиниці, якщо є ребро, яке прямує з вершини  $x_i$  в вершину  $x_j$ , і дорівнює нулю в протилежному випадку. Елемент  $x_{ij}$  дорівнює одиниці, якщо при вершині є петля і дорівнює нулю в протилежному випадку.

Це записується таким чином:

$$g_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x_j = Fx_i; \\ 0, & \text{якщо } x_j \neq Fx_i. \end{cases}$$

Наведений вище граф матричним способом записується так:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Для побудови матриці комплексу руйнівних процесів необхідно на основі експериментальних даних досліджень визначити види основних руйнівних процесів. Потім по кожному руйнівному процесу визначити основні і простіші фактори, такі фактори, які не є функцією яких-небудь аргументів, або в крайньому випадку підібрати такі фактори, які можна вважати простішими і тим самим побудувати математичні моделі в самому загальному вигляді.

Для основних руйнівних процесів можна побудувати приблизні математичні моделі в загальному вигляді.

Змінення міцності або порушення міцності матеріалу кузовної деталі автомобіля:

$$R1 = f1 (p; \phi; Q; c; t; z; w)$$

де  $p$  - властивості міцності матеріалу;

$\phi$  - зовнішні навантаження;

$w$  - структура матеріалу;

$Q$  - молекулярне зчеплення;

$c$  - стан кристалічної решітки;

$t$  - час;

$z$  - інші невстановлені фактори.

Деформація матеріалу деталі:

$$R2 = f2 (P; h; N; D; T; t; z),$$

де  $P$  - зовнішні сили;

$h$  - точечні дефекти матеріалу;

$D$  - дифузія;

$T$  - температура;

$N$  - дислокації.

Старіння матеріалу деталі кузова автомобіля:

$$R3 = f3 (a; T; V; t; q; z),$$

де  $a$  - створення центрів кристалізації;

$V$  - процес створення мартенситу;

q - витрати молекул.

Сталість матеріалу деталі:

$$R_4 = f_4 (\alpha; M; L; A; K; t; t),$$

де  $\alpha$  - амплітуда коливань;

M- кількість циклів;

L - скрита теплота плавлення;

A - механічний еквівалент тепла;

K- концентрація напружень.

Корозія матеріалу деталі кузова автомобіля:

$$R_5 = f_5 (I; u; \tau; y; v; z; w),$$

де I-сила тока;

u - різниця потенціалів;

$\tau$ - термін еманування;

v - частість смачування;

y - агресивність середовища.

Зношення внаслідок тертя:

$$R_6 = f_6 (F; f; T; X; y; t; z),$$

де F сила тертя;

f - коефіцієнт тертя;

X- стан поверхні деталі;

y-стан проміжного середовища (змащування).

Для побудови моделі обирають сукупність процесів, найбільш близьких по наслідкам з таким розрахунком, щоб число аналізованих факторів було не більше 15.

Велика кількість факторів ускладнює матрицю і розрахунки. Будують квадратну матрицю, в якій кожна строка і кожний стовбець відповідає одному фактору. Нижче приводиться приблизна матриця факторів процесів тертя, корозії, усталеності, діючих в деталях кузова автомобілів. Наведена матриця умовна. Матриця заповнюється у відповідності з вище наведеними правилами

побудови графа матричним способом. Аналізується кожний фактор по строкам, який його зв'язок з фактором, що вказаний в будь-якому стовпці (табл.3.1).

У випадку якщо аналізуємий фактор має вплив на другий фактор (вплив якого не має значення), то у відповідному стовпці ставиться 1; якщо не має впливу - 0. Він ставиться і в тому випадку, коли фактор в стовпці має вплив на фактор в строці (зворотний вплив). Одиниця ставиться тоді, коли фактор в строці зустрічається з фактором в стовбці (з самим собою). Наприклад: перший фактор - сила тертя, на перетині строки 1 і стовпця 1 ставиться одиниця, на перетині першої строки із другим стовпцем також ставиться одиниця, так як сила тертя має вплив на температуру, но в стовбці 6 ставиться нуль, так як сила тертя не має впливу на різність потенціалів.

Таблиця 5.1 - Матриця взаємозв'язку процесів руйнування кузовних деталей

Фактори		№ п/з	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Тертя	Сила тертя	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Температура	2	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Стан поверхні	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Час	4	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
	Стан проміжного середовища	5	1	1	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Корозія	Різність потенціалів	6	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
	Термін еманування	7	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Частість еманування	8	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0
	Структура матеріалу	9	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1
	Агресивність середовища	10	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
Сталість	Амплітуда коливань	11	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0
	Кількість циклів	12	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0
	Концентрація напружень	13	0	0	0	0	0	<b>1</b>	0	0	1	0	0	0	1	0
	Скрита теплота плавлення	14	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1

## 5.2 Математичне описання процесів

Для описання більшості параметрів, з якими приходиться працювати при ремонті кузовних автомобільних деталей, використовують закони Гауса. Для описання різного роду зношення деталей і їх пошкодження - закони Вейбула. Незважаючи на те, що як показали дослідження В.А. Шадричева [9], Л.В. Дехтяринського [10], М.А. Масіно, можна використовувати і інші закони.

Важливу роль в механічних руйнівних процесах грають процеси дифузії. Основною причиною дифузії твердих тіл - це теплові переміщення часток.

Процеси дифузії описуються кінетичними рівняннями.

Рівняння одномірної дифузії має вигляд:

$$dc / dt = d / dx (D dc / dx).$$

Це рівняння відображує закон Фука. В наведеному рівнянні  $dc / dt$  - швидкість зміщення концентрації речовини в конкретному перетині деталі (швидкість накопичення дифундуючих атомів;  $dc / dx$  - градієнт концентрації речовини;  $D$  - коефіцієнт дифузії).

Під коефіцієнтом дифузії розуміють кількість речовини, яка проходить за одиницю часу через одиницю поверхні при наявності тільки градієнта концентрації, який дорівнює одиниці.

У випадку трьохмірної дифузії наведене рівняння приймає вигляд:

$$dc / dt = D (d^2c / dx^2 + d^2c / dy^2 + d^2c / dz^2).$$

Коефіцієнт дифузії визначають за формулою:

$$D = a^2 \omega / 6,$$

де  $a$  - відстань, яка відповідає міжатомній відстані ( $a = 3 \cdot 10^{10}$  м.);

$\omega$  - середня кількість перескоків атома в секунду.

Розрахунки коефіцієнта дифузії показали, що його значення для металів і напівпровідників знаходиться в межах від  $10^{-20}$  до  $10^{-50}$  м /с. Енергія активації дифузії складає 1... 5 еВ.

В деталях автомобілів процеси дифузії пов'язані з корозією та сорбційними процесами. Це обумовлює кінетику руйнування деталей автомобілів.

До недавніх пір вважали, що руйнування твердого тіла настає після виникнення критичного напруження. Вважали, що при напруженнях, менших границі пружності, пластична деформація не розвивається. Таке уявлення о явищах механічного руйнування твердого тіла не відповідає реальному проектуванню довговічності механізму.

В теперішній час руйнування деталей автомобілів розглядають як поступовий кінематичний термоактиваційний процес.

Час  $\tau$ , після якого настає руйнація деталі автомобіля, є складною функцією декількох аргументів, серед яких головними є: напруження  $\sigma$ , температура  $t$ ; енергія активації  $u_0$ , коефіцієнт степені зменшення початкового енергетичного бар'єру  $\gamma$ , теплова флуктуація  $f$ ; направлена дифузія вакансій і тріщин  $D$ :

$$\tau = \varphi (\sigma; \gamma; t; f; D).$$

Процес механічного руйнування кузовних деталей автомобілів тісно пов'язаний з такими процесами, як старіння і сталість матеріалів.

Старіння матеріалів - це процес, який характеризується зміненням будови і властивостей матеріалів, які відбуваються само собою, або при нагріванні. Процес старіння пов'язаний зі зміненнями кристалічної структури матеріалу.

Види перетворень при старінні матеріалів деталей сведені у дві групи:

- 1) перетворення, які протікають без змінення хімічного складу (змінення тільки кристалічної структури);
- 2) перетворення, які супроводжуються створенням фаз із зміненням хімічного складу.

В загальному вигляді старіння матеріалів деталей може бути описано рівнянням Р. Хівеленда:

$$\ln S = \ln S_0 - k'' t,$$

де  $S$  - міцність матеріалу в даний момент часу;

$S_0$  - початкова міцність матеріалу деталі;

$k''$  - коефіцієнт, який залежить від розміру дефекту (є функція реагуючих речовин);

t - час.

З цього рівняння видно, що в результаті старіння міцність матеріалу зменшується по експоненті.

Більшість деталей автомобілів, виготовлених з полімерних матеріалів, експлуатуються в постійному електричному полі.

Термін служби до виникнення пробою залежить не тільки від температури їх експлуатації, но і від напруження електричного кола:

$$t = c E^{-m} \exp(\nabla\omega/kT),$$

де c, m,  $\nabla\omega$  - постійні параметри для полімеру і умов експлуатації;

k - константа швидкості;

E - енергія активації.

На міцність деталі суттєво впливає сталість матеріалу.

Під міцністю деталі розуміють опір розриву її тіла на дві або декілька частин.

Згідно механічної концепції міцності в тілі під дією навантаження виникає тріщина розміром від  $10^{-7}$  м до  $10^{-2}$  м при прикладені напруження тіло з тріщиною втрачає стійкість, так як тріщина буде збільшуватися

$$\sigma \geq \sigma_c = (8 \alpha E/3cL)^{0,5},$$

В наведеному рівнянні: L - довжина тріщини;  $\alpha$  - поверхнева енергія; c - постійна величина; E - модуль Юнга.

Тріщини довжиною L, які менші за критичну, нестійкі і в однорідному пружному тілі захлопуються.

З кінетичної точки зору довговічність тіла деталі залежить від напруження і абсолютної температури:

$$\tau = \tau_0 \exp(u_0 - \gamma \sigma) / (k T),$$

де  $\tau_0$ ,  $u_0$ ,  $\gamma$  - постійні величини, які залежать від фізико хімічної природи твердого тіла і його структури.

При незмінній температурі наведене рівняння буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} \tau &= A l, \\ A &= \tau_0 l u / k T, \end{aligned}$$

$$\beta = \gamma / k T.$$

Згідно експериментальним даним енергетичний бар'єр,  $u_0$ , який визначає максимальну міцність чистих металів, співпадає з енергією зв'язку атомів цих металів, наприклад, для алюмінію  $u_0 = 54$  ккал/моль, а енергія сублімації - 55 ккал/моль. Для нікелю  $u_0 = 87$  ккал/моль, а енергія сублімації - 85 ккал/моль. Для поліамідів  $u_0 = 45$  ккал/моль, енергія активації термічної деструкції - 43 ккал/моль.

Мікротріщини в процесі навантаження не змінюють своїх характеристик. Одна мікротріщина критичних розмірів достатня для того, щоб викликати руйнування всієї деталі незалежно від її розмірів.

Суттєвим процесом, який призводить до втрати міцності матеріалу деталі, є усталосність матеріалу. Сталість матеріалу в багатьох деталях автомобіля є основним явищем, в результаті якого деталі втрачають міцність.

Під дією повторнозмінних навантажень метали руйнуються крупою без слідів остатньої деформації. Усталосні змінення в матеріалі виникають при наявності гармонічного або близького по типу до нього навантаження.

На рис. 5.2 показано змінення напружень при гармонічному навантаженні.

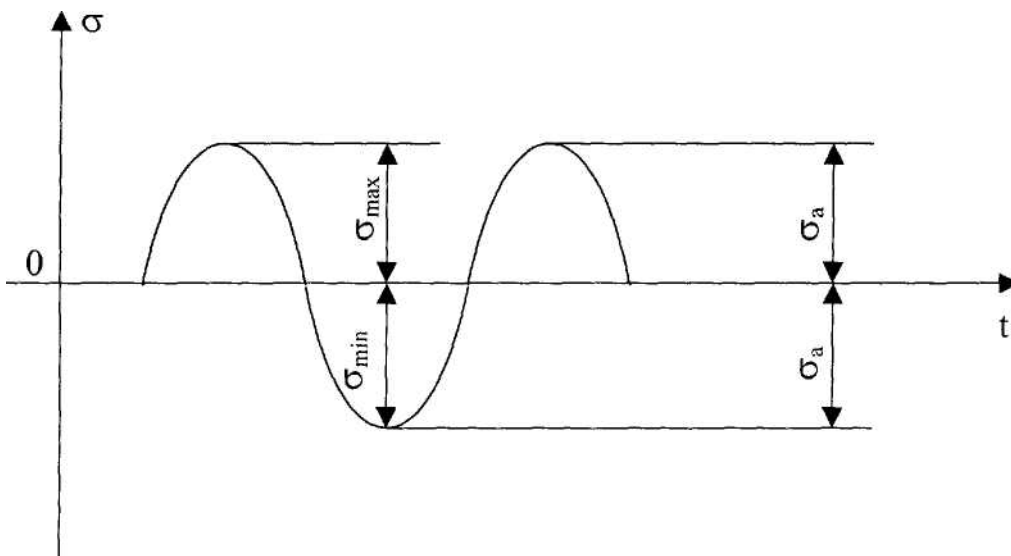


Рис. 5.2 - Змінення напружень.



Між вказаними величинами мається наступні співвідношення:

$$\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2;$$

$$\sigma_{ст} = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2;$$

$$r = \sigma_{\min} / \sigma_{\max},$$

де  $r$  - степінь асиметрії циклу. Для симетричного циклу  $r = -1$ .

Максимальне напруження, незалежно від кількості циклів повторнозмінного напруження, носить назву границі витривалості (границі усталості).

Границя витривалості для чорних металів складає  $10^7$  циклів, а для кольорових металів  $10^7 - 20 \cdot 10^7$  циклів.

Аналітичне описування залежностей, які зв'язують амплітуду напруження з кількістю циклів до руйнування, приймають у вигляді наступних співвідношень:

$$a N = c;$$

$$\sigma_a = v N^p;$$

$$\sigma_a - \sigma_1 = k(N^p + \beta),$$

де  $\sigma_1$  - границя витривалості;

$N^p$  - кількість циклів до руйнування;

$a, c, v$  - параметри рівняння.

Між границею витривалості і статичною міцністю є кореляційна залежність:

$$[\sigma_1] = k \sigma_b;$$

$$[\sigma_1] = 0,285 (\sigma_b + \sigma_t),$$

де  $\sigma_b$  - границя міцності;

$\sigma_t$  - границя текучості;

$K$  - параметр.

Якщо в деталях автомобілів є надрізи, виточки, отвори й інші концентратори напружень, то це призводить до виникнення в локальних об'ємах метала напружень, значно перевищуючих середні значення.

### Питання для самоконтролю

1. Що дозволяє встановити теорія графів
2. Побудування математичних моделей для руйнівних процесів кузовних деталей автомобілів.
3. У чому полягають особливості побудови матриці взаємозв'язку процесів руйнування кузовних деталей?

## Тема №6. Оптимізація способів відновлення кузовних деталей автомобілів

### 6.1 Вибір раціональних способів відновлення деталей

Від правильно обраного способу усунення дефекту залежить ефективність не тільки відновлення деталей автомобілів, але й авторемонтного виробництва в цілому.

Перед тим, як розглядати оптимізацію способу усунення того чи іншого дефекту, необхідно розібрати кінетику процесу способу усунення дефекту в деталі автомобіля.

Під оптимізацією розуміють отримання найкращих результатів в конкретних виробничих умовах. З точки зору математики це означає, що якщо той чи інший спосіб усунення дефекту деталей автомобілів описано математичним виразом, то отримана математична модель усунення дефекту деталі автомобіля. Таким чином задача вирішується шляхом знаходження екстремального значення деякої функції, яка є математичною моделлю цього способу. Необхідно знайти екстремум функції:

$$Q = \Phi (\xi_1; \xi_2; \dots; \xi_n; \eta_1; \eta_2; \dots; \eta_n),$$

кінцевого числа змінних.

$$\xi_1; \xi_2; \dots; \xi_n; \eta_1; \eta_2; \dots; \eta_n.$$

Екстремум  $Q$  повинен визначатися за умов, коли вектор змінних  $\xi_1; \xi_2; \dots; \xi_n$  належить цій множині  $n$ -мірного простору, а вектор  $\eta = (\eta_1; \eta_2; \dots; \eta_n)$  може змінюватися при зміні ситуації.

Інакше, в цій функції є керуючі зміни  $\xi_1$ ;  $\xi_2$  перервні змінні  $\eta_1$ ;  $\eta_2$ , які характеризують умови, на які ми не можемо впливати при усуненні дефект в деталі автомобіля. Таким чином, перед тим, як приступати до оптимізації відновлення деталі, необхідно побудувати математичну модель цього способу.

Найбільш поширеними способами усунення дефектів в деталях автомобілів є:

1. Механічні: способи ремонтних розмірів і додаткових ремонтних деталей; способи пластичного деформування поверхонь деталей.

2. Зварювальні: газове зварювання; електричне зварювання; зварювання тертям; контактне зварювання; зварювання в середовищі захисних газів.

3. Наплавочні: електродугове наплавлення; вібродугове наплавлення; наплавлення під шаром флюсу; плазмене наплавлення.

4. Металізаційні: газова металізація; електрометалізація; плазмена металізація.

5. Гальванічні: хромування; осталоювання.

6. Хімічні: міднення; нікелювання.

7. Усунення дефектів полімерними матеріалами: склеювання; нарощування зношених поверхонь деталей автомобілів.

8. Електромеханічні і електроерозійні способи.

9. Усунення дефектів способами спікання.

Кожний з цих способів має багато різновидів. Так, наприклад, до способів пластичного деформування поверхонь деталей відносяться: формоутворююче накатування, колібруюче накатування; обкатування поверхонь; розкатування поверхонь і т. ін. Кожний процес має свою кінетику, яка обумовлюється дією багатьох факторів.

Властивості деталі оцінюються сукупністю параметрів. У той же час любий параметр отримується в результаті дії фактора або їх сукупності. При цьому фактори можуть бути як керованими, так і некерованими.

Таким чином обрав той чи інший спосіб усунення дефектів деталі, необхідно визначити, які фізико-хімічні способи лежать в основі цього способу

Якими законами обумовлені процеси, які параметри необхідно отримати і які фактори визначають той чи інший параметр для того, щоб мати можливість керувати факторами в конкретному напрямку.

Необхідно визначити процеси і зв'язок між параметрами і факторами (побудувати граф способу усунення дефекту).

Розглянемо усунення дефектів деталі способом пластичного деформування і наплавленням. Пластичним деформуванням усувають дефекти деталей, які виготовлені із пластичних матеріалів, пластичних металів і сплавів. Основними теоріями пластичності є теорія Генки і теорія Сен-Венана-Мізеса.

Перша теорія узагальнює закон Гука на пластичний стан на основі гіпотез:

1. Направлення головних нормальних напружень співпадає з напруженнями головних лінійних деформацій.
2. Об'ємна деформація пропорційна середньому нормальному напруженню.
3. Головні дотичні напруження пропорційні головним деформаціям здвигу.

Друга теорія базується на трьох гіпотезах:

1. Направлення головних нормальних напружень і направлення головних швидкостей лінійних деформацій співпадають.
2. Матеріал нестискаємий так що в точці середня швидкість деформації дорівнює нулю.
3. Головні дотичні напруження пропорційні головним швидкостям деформацій здвигу.

Усунення дефекту деталі автомобіля пластичним деформуванням враховує слідуєчі закони пластичної деформації:

Розглянемо усунення дефектів деталі способом пластичного деформування і наплавленням. Пластичним деформуванням усувають дефекти деталей, які виготовлені із пластичних матеріалів, пластичних металів і сплавів. Основними теоріями пластичності є теорія Генки і теорія Сен-Венана-Мізеса.

Перша теорія узагальнює закон Гука на пластичний стан на основі гіпотез:

1. Направлення головних нормальних напружень співпадає з напруженнями головних лінійних деформацій.

2. Об'ємна деформація пропорційна середньому нормальному напруженню.

3. Головні дотичні напруження пропорційні головним деформаціям здвигу.

Друга теорія базується на трьох гіпотезах:

1. Направлення головних нормальних напружень і направлення головних швидкостей лінійних деформацій співпадають.

2. Матеріал нестискуємий так що в точці середня швидкість деформації дорівнює нулю.

3. Головні дотичні напруження пропорційні головним швидкостям деформацій здвигу.

Усунення дефекту деталі автомобіля пластичним деформуванням враховує слідуєчі закони пластичної деформації:

Припустимо, що місце, щ якому видаляється дефект (рис. 6.1), характеризується двома параметрами: розміром (на графі вершина I) і твердістю (вершина II). У результаті поверхневого деформування необхідно отримати аналогічні до другого чисельного значення параметри III і IV. Фактори на графі зображені у вигляді кривих з арабськими цифрами. Для спрощення вказано тільки п'ять факторів: температура -1, найменший опір - 2, швидкість деформації - 3, схема головних напрямків - 4, властивість матеріали - 5.

Взаємний зв'язок параметрів і факторів показано на рис. 6.1.

При усуненні дефекту деталі наплавленням незалежно від виду наплавлення діє декілька процесів: тепловий, металургійний, дифузійний і кристалізаційний. Всі чотири процеси протікають одночасно. У кожному з цих процесів діє велика кількість факторів.

Так, тепловий процес визначається такими факторами - тепловим колом, градієнтом теплового кола, часом, потужністю теплового кола. Металургійний процес - розміром зварювальної ванни, тривалістю функціонування зварювальної

вани, частками основного і присадочного матеріалу, кінетикою окислення металів, реакціями з воднем і азотом, реакціями компонентні основного і присадочного матеріалів. Дифузійний процес - коефіцієнтом дифузії, напрямленням дифузії, видом дифузії. Кристалізаційний процес - характером кристалічних решіток, компонент, атомними радіусами металів, електрохімічними властивостями компонент, швидкістю виникнення кристалів. На рис. 6.1 умовно показано граф наплавлення.

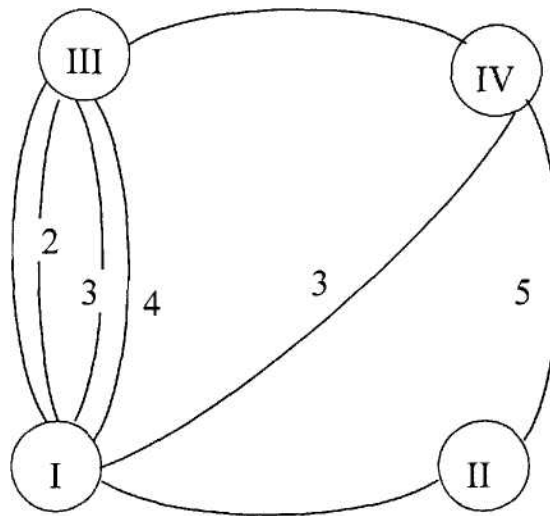


Рис. 6.1 - Граф усунення дефекту пластичним деформуванням.

Параметри: I - розмір наплавленого шару; II - твердість наплавленого шару; III - міцність зчеплення; IV - розмір зносу; V - характеристика матеріалу; VI - початкова температура;

Фактори: 1 - теплове коло; 2 - градієнт теплового кола; 3 - потужність теплового кола; 4- час; 5 - розмір вани; 6 - тривалість функціонування вани; 7 - частка основного і присадочного матеріалу; 8 - кінетика окислення; 9 - реакція з воднем; 10 - реакція з азотом; 11 - реакція компонент основного матеріалу; 12 - реакція компонент присадочного матеріалу; 13 - коефіцієнт дифузії; 14 - швидкість дифузії; 15 - вид дифузії; 16 – характер кристалічних решіток; 17 – атомні радіуси; 18 – електрохімічні властивості матеріалів; 19 – швидкість виникнення кристалів.

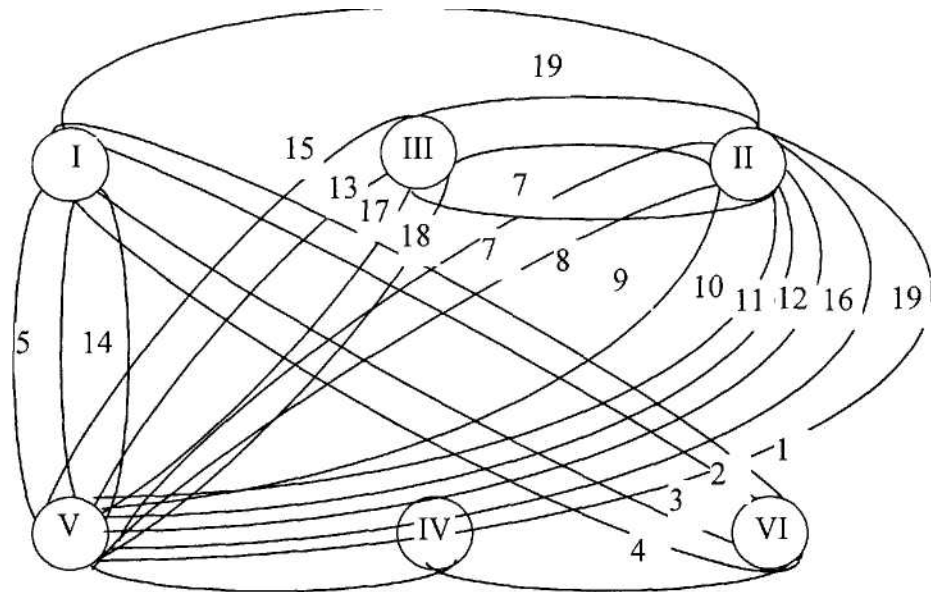


Рис. 6.2 - Граф усунення дефекту наплавленням.

Для побудови графа на основі літературних та інших даних приймається гіпотеза про можливий зв'язок параметрів і факторів, а потім прийнята гіпотеза перевіряється постановкою багатофакторного експерименту, в результаті якого встановлюється значимість впливу того чи іншого фактору на досліджуваний параметр.

Побудова графа зв'язку параметрів і факторів дозволяє перейти до моделювання процесу усунення дефекту. Для моделювання використовують три типи моделей: фізичну, аналітичну і математичну. Фізичні, конструктивні або геометричні моделі поєднують керовані змінні, які приймають участь у процесі. Фізичні моделі будують у вигляді різних лабораторних експериментальних установок, які імітують технологічний процес усунення дефекту деталі. Аналогові моделі не відображають безпосередньо реальний технологічний процес усунення дефекту деталі, але дозволяють за схожістю ряду параметрів і взаємного зв'язку представити той чи інший процес.

Математичні моделі представляють собою математичний опис явища, яке вивчається.

Розробка математичної моделі способу усунення дефекту деталі супроводжується однією з п'яти ситуацій:

1. Послідовний зв'язок параметрів процесу абсолютно відомий.

2. Структура процесу або явища відома, але метод математичного опису невідомий. У цьому випадку систему або структуру, яка досліджується, замінюють яким-небудь аналогом, який можна описати математично.

3. Структура процесу або системи невідома, але використання того чи іншого прийому аналізу і додаткових даних дає чітке уявлення про самий процес або систему.

4. Аналіз даних не дозволяє визначити вплив окремих змінних на показники процесу. Щодо цього випадку ставлять ряд експериментів для виявлення змінних, які суттєво впливають на ті чи інші параметри процесу.

5. Опису процесу немає, провести експерименти неможливо. При цьому приймають яку-небудь гіпотезу, а потім виконують відповідну перевірку наскільки правильна прийнята гіпотеза.

При розробці моделей відновлення деталей зустрічаються 2 і 4 ситуація, іноді - 3 ситуація.

Математичне моделювання або побудова математичної моделі зводиться до побудови математичного рівняння або системи рівнянь, які описують процес.

Існують два основних класи математичних моделей, які описують усунення дефектів деталей: статистичні і динамічні моделі. Перший клас моделей описує взаємний зв'язок параметрів з урахуванням дії тих чи інших факторів. Він фіксує стан відремонтованої деталі, дає вичерпну характеристику властивостей відремонтованої деталі.

Другий клас моделей відображає хід технологічного процесу, в результаті якого деталь має необхідну сукупність властивостей.

Для практики і теорії ремонту автомобілів однаково важливі обидва класи математичних моделей.

Якщо сукупність рівнянь знаходиться в логічному зв'язку, то побудована математична модель є сталою. Якщо цей логічний зв'язок відсутній, то такий зв'язок в моделі іноді називають природним розташуванням.



Математичні моделі повині бути максимально спрощені. Спрощення моделі повинно забезпечити найбільш просте її математичне зображення при однаковому забезпеченні максимальної точності відображення процесу.

Спрощення математичної моделі допускається такими методами:

- виключенням неіснуючих змінних;
  - зміненням природи змінних з використанням одного з наступних видів: розглядання яких-небудь змінних у якості сталих величин; прийняття дискретних змінних у вигляді безперервних чи навпаки;
  - зміненням функціональних співвідношень між змінними (апроксимація лінійними рівняннями);
  - модифікацією граничних умов (у вигляді заміни одних законів іншими], наприклад: дискретні функції розподілення апроксимують безперервними нормальними функціями розподілу.

Загальний порядок підходу до моделювання того чи іншого процесу може бути прийнято у вигляді наступних семи стадій.

Перша стадія складається з постановки задачі, яка визначає не тільки ціль даного аналізу, але визначає і шляхи його проведення. Основна ціль цієї стадії - чітко і ясно сформулювати задачу, представити однозначність її вирішення. Формулювання задачі повинно забезпечити однозначне її розуміння.

Друга стадія полягає у визначені фізико-хімічних законів, які лежать в основі даного способу усунення дефекту деталі (у визначені теорії процесу). Ця робота проводиться на основі літературних даних. У випадку якщо такі дані відсутні, то розробляють робочу гіпотезу, справедливість якої перевіряють наступними етапами роботи.

Третя стадія здійснюється на основі обраної фізичної моделі. Складають систему відповідних факторів і параметрів даного процесу. Це найбільш складна і відповідальна стадія в моделюванні. Ці рівняння повинні бути записані в найбільш простій і ясній формі. На цьому етапі ніяких розрахунків над рівняннями не виконують. Виконують спрощення отриманих рівнянь.

Спрощення повинні незначимо впливати на точність розрахунків і повноту моделі.

Четверта стадія виконується після того, коли рівняння складені. Визначають методи їх рішення. Для цього складають блочну поточно - інформаційну діаграму, сутність якої полягає в тому, що розташовують рівняння так, щоб було видно, як може бути використано кожне рівняння, з якою ціллю визначається кожна зміна і які внутрішні зв'язки є між ними.

П'ята стадія полягає у виборі одного з декількох можливих способів рішення в залежності від рівня проведеного дослідження процесу і від складності рівнянь моделі.

Шоста стадія - це аналіз моделі. Якщо вирішується нескладне питання і рівняння нескладні, то аналіз виконується як огляд моделі без рішення рівнянь, які входять в модель. Якщо процес складний і складні рівняння, то виконують рішення рівнянь з використанням ЕОМ.

Сьома стадія полягає у вивченні і підтвердженні результатів, отриманих при рішенні математичної моделі фактичному процесу. Після того, як отримана достатньо точна модель, яка відбиває реальний процес усунення дефекту, виконують оптимізацію процесу Знаходять необхідний екстремум моделі, як функції. Потім коректують сам процес.

У кінцевому результаті спосіб усунення дефекту описується сукупністю рівнянь.

Для опису цих процесів використовують два класи рівнянь: алгебраїчні, інтегрально-диференціальні, алгебраїчні і нелінійні. Диференціальні рівняння використовують як першого, так і більш високого порядку в залежності від порядку похідних, які входять в рівняння. Кожне диференціальне рівняння високого порядку може бути замінене системою сумісних диференціальних рівнянь першого порядку за допомогою додаткових змінних. Достатність рівнянь буде тоді, коли кількість незалежних рівнянь буде дорівнювати кількості незалежних змінних, які входять в цю систему рівнянь. Така система має конкретне рішення. Якщо в системі кількість незалежних рівнянь більше ніж

невідомих, то при рішенні системи рівнянь необхідно використовувати всі рівняння, щоб зменшити похибки, які виникають при отриманні рівнянь.

Для отримання конкретних рішень диференціальних рівнянь необхідно задати граничні умови. Для описання реального процесу необхідні деякі початкові значення (початкові умови) і в деяких умовах кінцеві або деякі інші умови.

Розроблені конкретні правила побудови математичної моделі. Найбільш важливі є наступні: рівнянь повинно бути стільки, скільки є невідомих величин, які характеризують фізичний процес; або рівняння може бути вирішено відносно якої-небудь невідомої величини в тому випадку, коли інші невідомі величини отримані з інших рівнянь; кожне рівняння вирішується відносно найбільш значимої змінної.

При побудові математичної моделі керуються наступними положеннями:

- рівняння складають так, щоб воно зв'язувало значимі для процесу величини;
- вирішують яку невідому величину необхідно визначити з кожного рівняння;
- призначають граничні умови або початкові значення для всіх змінних, які входять в рівняння системи (початкових значень повинно бути стільки скільки є диференціальних рівнянь у перерахунку на диференціальні рівняння першого порядку);
- розташовують рівняння в будь – якій послідовності;
- виконують перевірку таким чином, щоб всі величини, необхідні для рішення кожного рівняння відносно обраної змінної, визначалися з будь-якого іншого рівняння моделі або були б відомими константами.

Для побудови математичної моделі складного процесу складають блок-модель, в основу якої кладуть закон збереження речовин або закон збереження енергії. Ці закони дозволяють зв'язати між собою елементарні процеси в одне ціле. Залежність того чи іншого параметра любого процесу усунення дефекту

деталі від факторів, які визначають даний параметр, можна описати у вигляді співвідношення:

$$Y = B_0 + B_x x_x + B_2 x_2 + B_n x_n,$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_n$  - значення відповідних факторів;

$Y$  - значення параметра, який досліджується.

Подібні математичні залежності отримують в результаті багатofакторного експерименту і відповідного регресійного аналізу.

Наприклад, В.А. Налівкіним отримані наступні регресійні рівняння для усунення дефектів деталей автомобілів наплавленням, які зв'язують такі параметри, як довжина вани розплавленого метали  $Y$ ; ширина вани  $Y_2$ ; товщина наплавленого металу  $Y_3$  з факторами: швидкість подачі електрода  $x_1$ ; кількість обертів наплавленої деталі  $x_2$ ; відстані між електродами  $x_3$ .

Рівняння мають вигляд:

$$Y_1 = 28,4 + 5,2x_1 - 0,75x_2 - 3,7x_3;$$

$$Y_2 = 26,79 + 0,88x_1 - 0,14x_2 - 2,46x_3;$$

$$Y_3 = 3,55 + 0,65x_1 - 0,35x_2 - 0,55x_3.$$

Після того, як помучена математична модель, можна перейти до оптимізації процесу через оптимізацію моделі. Під оптимізацією розуміють одержання найкращих результатів в даних умовах. Після того, як той чи інший процес математично описано, можна одержати оптимальні значення функції або функціоналу. При цьому під функціоналом розуміють зміну, яка залежить від вибору однієї або декількох функцій. Математично формалізована постановка задачі оптимізації полягає в знаходженні екстремуму (максимуму або мінімуму) функції:

$$Q = F(\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_n; \eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n),$$

кінцевого числа дійсних керованих  $\zeta$  і некерованих змінних  $\eta$ .

Змінючі керуючі змінні, можна отримати оптимальне значення функціонала, або розглядати процес як систему (рис.6.3).

На цю ж систему діють деякі некеровані змінні. У результаті одержимо деякі оптимальні вихідні параметри  $u_p$ , значення яких визначається особливостями зміни керованих факторів.

На практиці не завжди можливо змінювати керовані змінні в будь-яких границях, тому на всі або на частку керованих змінних накладають конкретні граничні умови.

Функціонал досягає максимального значення, якщо його значення розташовані в самій високій точці поверхні, або мінімального значення, коли він розташований у самій низькій точці. Так як поверхня може мати багато вищих та найнижчих точок, то може бути багато максимальних і мінімальних значень функціонала. Змінюючи керовані змінні, можна одержати багато екстремальних значень функціоналу. Функціонал  $P$  досягає в точці  $X_0$  мінімуму, якщо для всіх  $X$ , достатньо близьких до  $X_0$ , і таких у яких  $P(x)$  виконано у вигляді нерівності:

$$F(x) - F(x_0) \geq 0.$$

Аналогічно визначають максимум функціоналу.

При визначенні оптимуму того чи іншого процесу необхідно обрати критерій оптимізації. Під критерієм оптимізації розуміють деяку числову величину, яка залежить від змінення часу або координат простору і параметрів об'єкту та характеризує ефективність досягнення цілі. Критеріями оптимальності можуть бути різні технічні або економічні показники. Загальними вимогами до критерію оптимальності є:

- забезпечення вимірювання в кількісних одиницях;
- можливість накладання границь на змінення параметрів.

Процес усунення дефекту можливо розглядати як деяку систему керування. До неї можна використовувати критерії оптимального керування. В теорії розділяють статистичні критерії оптимального керування процесів відновлення так як-при будь-якому способі відновлення завжди є вплив будь-яких випадкових факторів. Із багатьох статистичних критеріїв оптимального керування найбільш ефективнішим є мінімальний критерій.

До усунення дефекту деталі автомобіля найбільш повним критерієм є максимальний термін експлуатації відновленої деталі при мінімальних витратах на її відновлення.

Для визначення оптимального значення функціоналу використовують різні математичні методи. Використання того чи

іншого метода визначення екстремуму функцій багатьох змінних є головним чином клас функцій, які досліджуються.

Основні задачі вирішують методами варіаційного числення, коли знаходять екстремум функціонали виду:

$$F[x] = \int f[X(t), X'(t)] dt.$$

У цьому випадку коли функцію  $X(i)$  можна задати набором значень:

$$X_1=X(i_1); X_2=X(i_2), \dots, X_n=X(i_n),$$

в кінцевому числі точок, то варіаційна задача буде зведена до пошуку екстремуму функції від змінних  $X_1, X_2, \dots, X_n$ :

$$\Phi(X_1, X_2, X_n) = \sum f(X_i, t_i) \Delta t.$$

Більшість задач на оптимум вирішують методами проектування градієнта, методами лінійного, нелінійного і динамічного програмування, методами екстремального пошуку.

Для відновлення деталей використовують один з наступних видів технологій:

- подефектну, коли послідовно усувають конкретним способом кожний дефект окремо незалежно від способу усунення інших дефектів. Цей тип технології використовують при індивідуальному відновленні головним чином великих складних деталей;

- відновлення деталей жорстко фіксованою технологією, цьому випадку деталь незалежно від сумісництва різних видів дефектів розглядають як заготовку, і відновлення ведуть по маршрутній технології, коли усувають сукупність дефектів по прийнятому маршруту.

Так як кожний дефект може бути ліквідований яким - небудь кінцевим числом способів  $\Gamma_1, \dots, \Gamma_T$ , то задача буде полягати в тому, що кінцевій множині

дефектів  $[M,d]$  протистоїть кінцева множина способів усунення  $[M,\gamma;]$ . При цьому остання множина повинна давати максимальний ефект  $E_{\max}$

$$[M,\gamma;] - E_{\max}.$$

Задача зводиться до визначення короткого шляху множини  $M_2$ , розглядаючи його складові елементи як деякі частки шляху  $S_i$

$$S = \sum S_i - \min.$$

Кожну частку шляху можна розглядати як деякий багаточлен:

$$S_i = \delta + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3,$$

де  $\delta$ - вартість усунення дефекту  $\gamma_7$  оптимальним способом;

$\gamma$  - коефіцієнт змінення ресурсу даного елемента деталі до відмовлення у зв'язку з використанням  $\gamma$  способу усунення дефекту:

$$\eta = l_n / l_p,$$

де  $l_n$  - напрацювання до відмовлення елемента нової деталі;

$l_p$  - напрацювання до відмовлення елемента відремонтованої деталі способом  $\gamma$ ;

$\delta_1$  - вартість транспортування деталі при русі від виконання робіт  $\gamma_i$  до виконання робіт  $\gamma_{i+1}$ ;

$\delta_2$  - вартість простою деталі при переміщенні від виконання робіт  $\gamma_i$  до виконання робіт  $\gamma_{i+1}$ ;

$\delta_3$  - втрати в експлуатації у випадках простою автомобіля із-за відмовлення ( $\eta > 1$ ).

Таким чином, вибір оптимального маршруту відновлення деталі зводиться до визначення найменшого підсумкового шляху:

$$S = \sum(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3) = \min.$$

### Питання для самоконтролю

1. Які основні поширені способи усунення дефектів в деталях автомобілів?
2. Як будується граф усунення дефекту пластичним деформуванням?
3. Як будується граф усунення дефекту наплавленням?
4. Якими основними положеннями користуються при побудові математичної моделі?

## Тема №7. Способи відновлення кузовних деталей автомобілів

### 7.1 Правка механічним впливом

Вм'ятини в панелях кузова й оперення, у яких метал після удару не розтягнутий, частіше усього вирівнюють методом видавлювання або витягування увігнутої ділянки до надання їй правильного радіуса кривизни і при необхідності наступним рихтуванням видавленої поверхні. Опуклості, які виникають в панелях при великому розтягу металу, не можна виправити рихтуванням, оскільки в процесі її виконання вершина опуклості може раптово загубити усталеність і переміститися на іншу сторону листа. Ця обставина, якщо врахувати, що для усунення опуклості необхідно підсадити надлишок металу, визначає спосіб її правки.

Правку опуклості можна виконувати в холодному або нагрітому стані. Усунення опуклості в холодному стані засновано на розтягу металу по концентричних окружностях або по радіусах від опуклості до непошкодженої частини металу. При цьому утворюється плавний перехід від найбільш високої частини опуклості до навколишньої поверхні панелі. Для цього по напрямку від металу, що оточує опуклості, до вигнутої частини поверхні завдають молотком ланцюжок послідовних ударів по колу. Причому в міру наближення молотка до межі опуклості сила удару зменшується. Чим більше число кіл на панелі піддається рихтуванню, тим перехід від опуклості до непошкодженої частини металу буде правильним.

Правка увігнутих поверхонь, у яких метал не розтягнутий, методом видавлювання або витягування з наступним рихтуванням із застосуванням незначного ударного навантаження не робить великого впливу на фізико-механічні властивості виправленої ділянки.

При правці молотком сильно розтягнутого металу в зонах безпосереднього впливу бойків зовнішні замкнуті частини будуть значно більше обжиматися. Це призводить до появи значних напруг, що розтягують і збільшуючись від периферії до центру, створюють різнойменну схему напруженого стану на



розтягнутих ділянках. Крім того, значна пластична деформація призводить до зміцнення металу, збільшенню його твердості, порушенню усередині і міжкристалічній цілісності зерен і їхніх меж та виникненню залишкових напруг.

Значна пластична деформація, що має місце при розтягуванні металу для усунення опуклості рихтуванням у холодному стані, збільшує поверхню металу і погіршує стійкість його окисної плівки. У результаті корозійна стійкість металу погіршується. Тому правку нерівних (хвилястих, невеличких увігнутих поверхонь) металевих панелей кузовів і оперення механічним способом рекомендується в міру можливості виконувати методом розгладжування спеціальними устроями, видавлюванням або витягуванням за допомогою пристосувань, а опуклості правити з застосуванням нагрівання.

При поточному ремонті в більшості випадків панелі кузова і дверей стають доступними для правки після того, як буде знята частина оббивки під ділянкою, що підлягає ремонту. У якості підтримки в місцях, важкодоступних для правки, користуються вигнутими підтримками - лопатками, кінець яких можна ввести між внутрішніми і зовнішніми панелями кузова через зазори або через монтажні люки внутрішніх панелей.

Неглибокі положисті вм'ятини іноді удасться виправити, не розбираючи оббивки кузова. У найбільш глибокій частині вм'ятини свердлять отвір діаметром приблизно 6 мм, через який вставляють вигнутий кінець стрижня і витягають увігнуту частину панелі до нормального її становища. Потім отвір заповнюють припоєм або епоксидною смолою. Вм'ятини у важкодоступних або зовсім недоступних для введення необхідного для правки інструмента (панель стійки вітрового вікна, центральній стійки кузова і т.д.) витягають за допомогою стрижня з вигнутим кінцем або вакуумного пристосування (увігнута поверхня витягається до упора в пластину, що має кривизну).

Якщо після витягування вм'ятини на поверхні металу залишаються нерівності, їх заповнюють пластичною масою.

На автотранспортних підприємствах при відсутності механізованого інструмента для виконання ряду складних операцій застосовують ручний інструмент.

При виявленні місцевих деформацій кузова, заклинювання дверей, вікон, а також після аварійних ушкоджень перевіряють геометричні параметри кузова. Перевірка геометричних параметрів проводиться безпосереднім виміром: відстані між заданими точками перекошеного вузла за допомогою сталеві рулетки; куту у вертикальній площині за допомогою трикутника кутоміра з рівнем або лінійки з транспортиром і схилом; відхилення від горизонтальної площини за допомогою нівеліра і нівелірної рейки. Крім того, геометричні параметри можна перевірити за допомогою розсувного пристосування, що само центрується. Розмір перекоосу можна визначити порівнянням ушкодженого вузла з таким же непошкодженим вузлом на однотипному кузові або непошкодженої протилежної сторони цього ж кузова.

Перекручування геометричних розмірів (перекосів і прогинів) у кузові усувають зусиллям, спрямованим протилежно тому, що діяло під час аварії.

## **7.2 Правка з застосуванням нагрівання**

Сутність термічного способу правки полягає в тому, що нагрівається ділянка панелі в процесі теплового розширення, яка зустрічає протидію з боку навколишнього холодного металу і, збільшуючись у поперечному напрямку, зменшується в подовжньому, тобто в площині панелі. У процесі остигання відбувається подальше зменшення опуклості за рахунок того, що нагріті ділянки, охолоджуючись, стягають нагріту частину панелі. Для посилення стягуючої дії зону нагрівання варто розташовувати якнайближче до вершини опуклості. Проте це може призвести до втрати усталеності опуклості і переміщенню її вершини на іншу сторону панелі, тому нагрів здійснюють по  $\wedge$  напрямку від країв опуклості до її середини.

Нагрівання здійснюється плямами або смугами за допомогою ацетиленокисневого пальника до температури 600...650°C.

Плями діаметром 20...30 мм орієнтують уздовж довгих сторін опуклості (рис. 5.1, а). Послідовність нагрівання здійснюється від найбільш жорстких ділянок до менш жорстких. Відстань між центрами плям дорівнює 70...80 мм.

Більш продуктивна правка здійснюється шляхом нагрівання панелі смугами шириною 20...30 мм (видима зона), які розташовують у залежності від орієнтації опуклості з урахуванням поперечного укорочення листа. Якщо форма опуклості наближається до кульової поверхні, то нагрів здійснюють перехресними смужками або смугам, розташованими по схилах опуклості (рис.5.1,б). Нагрів кожної наступної смуги виконують після повного остигання попередньої смуги. Правку металу можна прискорити, застосувавши штучне охолодження. Повітряний шланг закріплюється безпосередньо на пальнику.

Коли є вільний доступ до опуклості з зовнішньої і внутрішньої сторін панелі для прискорення процесу правки застосовується такий спосіб усунення опуклості в нагрітому стані. Саму розтягнуту її частину нагрівають невеличкими плямами й ударами дерев'яного молотка навколо нагрітої плями «уганяють» надлишок металу в цю пляму. При цьому під ділянку, яку вирівнюють, підставляють підтримку, яка перекриває її площу. Цей спосіб правки дозволяє відновити початкову кривизну панелі в розтягнутому місці і значно зменшити ступінь її пластичності із мінімальною витратою часу.

Для запобігання різкого случення ремонтуємої ділянки при концентрованому місцевому нагріванні і погіршенні його механічних властивостей інтервал температур нагрівання повинний дорівнювати 600...650°C (вишнево-червоне розжарювання). Діаметр нагрітої плями повинен дорівнювати 20...30 мм у залежності від розміру розтягнутої ділянки. Із збільшенням розміру опуклості при одній і тій же стрілі прогину необхідна менша площа нагрівання для посадки опуклості. При правці крутих глибоких ум'ятин найбільш деформовану ділянку розрізають, а після посадки зварюють. Вм'ятини в панелях кузова, виготовлених з листового дюралюмінію, важко піддаються ремонту, тому що дюралюміній у результаті наклепу і старіння сильно зміцнюється. Зняття цих напруг здійснюється відпущенням ділянки металу. Відпалений дюралюміній

стає м'яким і легко піддається опрацюванню тиском. Відпущення полягає в нагріванні металу до 300...320°C, витримці при цій температурі протягом 0,75...1,0 год. і в наступному охолодженні у воді або повітрі. Оскільки при нагріванні дюралюміній не змінює свого кольору, температуру нагрівання для обезжирювання визначають за допомогою термочутливого олівця або термоіндикатором.

### **7.3 Вирівнювання поверхонь у панелях за допомогою пластичних мас**

Замазування вм'ятин у панелях кузова й оперення з застосуванням пластичних мас можна здійснювати двома методами: заповненням і напилюванням. Для замазування вм'ятин заповненням звичайно застосовують композиції на основі епоксидних смол.

Для замазування вм'ятин можна також застосовувати шпаклівки, перед застосуванням яких у них добавляють отвердювачі.

Епоксидні композиції можуть бути виготовлені на місці споживання зі складових частин, частіше усього з епоксидної смоли, пластифікатора, наповнювача й затвердителя. Епоксидні смоли в полімерних композиціях є сполучними. Пластифікатори збільшують питому ударну грузькість і еластичність отверджених епоксидних смол. Наповнювачі збільшують теплопровідність, підвищують коефіцієнт лінійного розширення і зменшують усадку смоли. Тому наповнювачі впливають на фізико-механічні і технологічні властивості компаунда.

У якості наповнювача застосовують слюдяну пилу, здрібнений азбест, сталевий або чавунний порошок і ін. Вид і кількість отвердювача обумовлюють швидкість і ступінь зміни фізичного стану композиції. Для замазування вм'ятин у кузовах і оперенні звичайно користуються амінними отвердювачами, при яких затвердження композиції може відбутися без підігріву в нормальних температурних умовах.

Щоб забезпечити точне дозування складу компонентів, перемішування і дотримання при цьому правил техніки безпеки, епоксидну мастику варто

виготовляти механізованим способом із використанням спеціальних установок. Ці установки мають змішувач, устрій для підготування і дозування епоксидної смоли для випарювання і дозування поліетиленполіамініту пластифікатора.

Застосування установок забезпечує об'ємне дозування, механічне змішування компонентів і тим самим підвищує якість клейових складів. Продуктивність процесу при цьому збільшується і що особливо важливо, покращуються умови праці.

Час затвердження складів при природній температурі 18...23°C складає 24 год., а з підвищенням температури воно різко скорочується. Так, при 40°C час завершення складає 10...12 год., при 60°C - 3...4 год., при 80°C - 1,5...2 год., а при 100°C - 0,5... 1 год. Для сушіння відремонтованої ділянки можна застосовувати пересувне рефлекторне устаткування.

Підготування поверхні ушкодженої ділянки при ремонті епоксидними складами полягає у ретельному очищенні її від усяких забруднень, шерохованні наждаковим полотном або шліфувальним диском на фібровій основі і обезжирюванні поверхні протиркою дрантям, змоченого в органічному розчиннику (ацетоні, бензині Б-70 або ін.). Шорсткість металевої поверхні в межах 4...5- го класу чистоти поверхні сприяє кращому зчепленню з полімерним покриттям. Епоксидну мастику завдають шпателем, злегка змазаним гліцерином, щоб до нього не приставала мастика.

Для вирівнювання поверхонь кузова, кабін і оперення методом напилювання широке застосування одержали спеціальні порошки. Ці порошки випускаються промисловістю і відповідають вимогам, запропонований до порошкоподібних матеріалів, застосовуваний для газопламеневого напилювання.

Одним із головних чинників, що визначають працездатність полімерних покриттів, є адгезія матеріалу покриття до підложки її усталеність в експлуатаційних умовах. Істотний вплив на адгезійну тривкість покриттів із полімерів на металах роблять температурно-тимчасові умови формування адгезійних метало полімерних з'єднань. Варіюючи температуру і час термічного впливу, можна в значних межах змінювати тривкість з'єднань і їхню усталеність

в умовах експлуатації. Головним технологічним чинником при формуванні покриттів із термопластичних полімерів є температура попереднього нагрівання металу.

Якість деталей і виробів із полімерним покриттям багато в чому залежить від попередніх операцій підготування поверхонь, покритій, і підготування полімерних матеріалів. Відсутність систематичних досліджень тривалої усталеності адгезійної тривкості полімерних покриттів у процесі експлуатації веде до запозичення рекомендацій по підготуванню поверхонь із суміжних областей (лакофарбові, гальванічні покриття) без урахування специфіки метало полімерного комплексу. Проте існують звичаєні прийоми підготування, що дозволяють полегшити вибір того або іншого способу.

Будь - якому виду підготування поверхонь повинна передувати їхнє очищення від жирових забруднень, тобто операція обезжирювання. Звичайно для обезжирювання застосовуються органічні розчинники (уайт-спірит, бензин ін.), спеціальні лужні розчини або емульсії.

Використання емульсійних складів призвело до здешевлення процесу очищення, зниженню токсичності при забезпеченні високої ефективності.

Для очищення поверхні ділянок від іржі й окалини забезпечення необхідної шорсткості варто користуватися голко фрезою. Поверхня, що підлягає напилюванню, повинна не тільки бути знежиреною, чистою і сухою, але і бути відкритою, доступною для напилювання, не мати брудних зварюваних швів, гострих ребер і кутів.

На металеві панелі, окремі ділянки яких мають різний перетин без плавних переходів, завдавати покриття важко внаслідок різної температури, рівній температурі розтікання наплавленого порошку.

Якість покриття в значній мірі залежить від теплового режиму, тобто температури в період проходження часток полімеру через полум'я, температури поверхні і температури оплавлення матеріалу. Для нанесення покриття з полімерних порошкових матеріалів при замазуванні вм'ятин у панелях кузова

можуть бути застосовані три головних способи: газопламеневий, тепловий і струменево-електростатичний.

Газопламеневий метод нанесення покриття. Термопластик звичайно завдають на ремонтуємо поверхню газопламеневим напилюванням за допомогою спеціального апарата. Цей спосіб полягає в нагріванні поверхні, що підлягає покриттю відкритим полум'ям через смолоскип якого подається дисперсний полімерний матеріал. Частки полімеру розм'якшуються, розплавляються і за умови прогріву поверхні до температури, що перевищує температуру плавлення використовуваного матеріалу, утворюють покриття.

При нанесенні покриття попередньо прогрівають ділянку поверхні без подачі полімерного матеріалу до температури 215...220°C. Деталі невеличкої теплоємності (товщина стінки 1...2 мм) можуть бути прогріті за один повільний прохід газопламеневого пальника. Більш теплоємні деталі прогріваються за три або чотири проходи. Після прогріву поверхні включають подачу дисперсного матеріалу і ведуть послідовний обдув полімером нагрітої ділянки. Покриття завдають при швидкості переміщення пальника-розпорошувача, яка дорівнює 1,5 м/хв. Перший тонкий прошарок порошку укочують металевією ковзанкою, завдають другий і наступні прошарки пластмаси до повного заповнення нерівності. Кожний знову нанесений прошарок укочують ковзанкою, що забезпечує одержання щільного монолітного прошарку пластичної маси. Щоб уникнути прилипання металевієї ковзанки до пластмаси її необхідно в міру нагрівання прохолоджувати у воді.

Для одержання якісного покриття дуже важливо дотримуватися рекомендованої температури попереднього підігріву металу, що обробляється. Недостатньо підігрітий метал не буде сприяти розплавлюванню і прилипанню порошку до поверхні, яка вирівнюється. На перегрітому металі може з'явитися окалина і різко погіршитися адгезія пластмаси до поверхні металу. Для контролю температури металу перед нанесенням термопластика можна користуватися термоіндикатором, термохромовим олівцем або термощупом.

У якості пальних газів застосовують ацетилен, природний газ, пропан - бутанову суміш. Превагу віддають ацетилену, що дає більш високу температуру полум'я і виділяє меншу кількість води, яка може каталізувати окислювання полімерних матеріалів.

Останнім часом для полімерних матеріалів починає використовуватися плазмене напилювання. Незважаючи на високу температуру смолоскипа, полімер розкладається лише частково внаслідок надзвичайно нетривалого контакту з плазмою в інертній атмосфері. Висока температура процесу призводить до миттєвого прогріву тонкого поверхневого прошарку металу, що дозволяє зменшити енергетичні витрати. Способом плазменого напилювання можуть бути нанесені будь-які полімери.

Таким чином, технологічна схема процесів плазменого напилювання проста, але одержати покриття високої якості достатньо складно. Закономірність півко утворення в таких процесах не вивчена, наявні дані носять характер рекомендацій.

Тепловий метод по всіх параметрах перевершує газопламеневий, є більш універсальним і високопродуктивним.

Сутність методу складається в тому, що струмені порошкоподібного полімеру подаються в потужний потік теплових променів, де частки матеріалу плавляться і з великою швидкістю попадають на поверхню, що обробляється. Полімер зчіплюється з поверхнею, створюючи покриття.

У якості джерел променистої енергії використовуються газонаповнені кварцові лампи накалювання, спеціально призначені для інтенсифікації технологічних процесів, пов'язаних із нагріванням і розплавлюванням.

У порівнянні з газопламеневим тепловий метод більш економічний, тому що при цьому витрачається полімеру на 25...30 % менше при меншій енергоемності (у 3,5...4 рази) процесу. Цей метод більш ефективний, чим газопламеневий. Покриття мають кращі фізико-механічні властивості й адгезію в підложці. Покриття тепловим методом можна завдавати в інертних і вогнебезпечних середовищах, тому що немає зіткнення з відкритим полум'ям.



Променеві нагрівачі знаходять широке застосування для інтенсифікації всіх процесів нанесення полімерних покриттів, у тому числі в автоматизованих установках.

Струменево-електростатичний спосіб. Сутність його полягає в тому, що частки полімеру, які знаходяться в зваженому стані, заряджаються на електричній сітці і переборюють опір фільтра лише при виникненні електричного поля між електродом і деталлю.

Устрій виконаний у вигляді пістолета-розпорошувача і має живильний бачок, укріплений безпосередньо на його корпусі. Головним елементом розпорошувача є робоча камера, усередині якої розташована електродна сітка із зарядними голками.

Заповнивши живильний бачок і робочу камеру полімером, подають високу напругу на електродну сітку і включають подачу газу. Газ пускає в хід вібратор і через клапан виходить в атмосферу. Розпорошувач підводять до поверхні, що обробляється, звичайно заземлюється, тобто має потенціал, обернений за знаком потенціалу електродної сітки. Заряджені частки під дією електростатичного поля переборюють опір фільтра. Для інтенсифікації процесу вихід газу в атмосферу обмежується. Газ проходить через пористу перегородку в робочу камеру, створює додатковий напір і покращує текучість дисперсного матеріалу. Процес нанесення покриття автоматично припиняється при видаленні устрою від поверхні, що обробляється. Величина високовольтного потенціалу, що подається на електродну сітку, встановлюється з таким наміром, щоб запобігти виникнення коронного розряду при максимальному наближенні устрою до заземленої поверхні.

Струменево-електростатичний метод має ряд позитивних особливостей. По-перше, покриття утворюються заданої сплошності і розмірної товщини. Процес нанесення покриттів регулюється автоматично. Це пояснюється тим, що високий електричний опір налиплого прошарку часток змушують силові лінії шукати місця з меншим опором. По-друге, відсутня втрата матеріалу, тому що частки полімеру переборюють опір фільтра тільки під дією електричного поля.

Процес нанесення покриття безпечний, тому що напруга може бути відрегульована на відсутність коронного розряду при максимальному наближенні устрою до поверхні, що обробляється.

Після отвердіння нанесений прошарок пластмаси зачищають ручним або механізованим інструментом.

Для механізації процесу обробки поверхні після нанесення термопластика або епоксидної мастиш застосовують пневматичний абразивний інструмент і шліфувальні диски на фібровій основі.

#### **7.4 Усунення ушкоджень у кузовах автомобілів зварюванням**

При ремонті кузовів застосовують головні чотири способи зварювання: киснево-газовий, крапкове зварювання, напівавтоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу і дугове зварювання. Поряд із механізованими способами зварювання застосовуються і ручні способи, які забезпечують виконання ремонтних робіт у місцях, де не рекомендується можливим-- або нераціональний застосовувати механізоване зварювання.

Киснево-газове зварювання. При газовому зварюванні киснево-ацетиленовим полум'ям панелей кузовів і оперення автомобілів застосовуються інжекторні пальники типу ГС-53 із наконечниками. Діаметр дроту при товщині зварюваного металу  $z < 10$  мм приймають по емпіричній формулі  $s_i = 0,5 \cdot z + 1$ . Кут нахилу пальника до зварюваної поверхні також залежить від товщини металу. При збільшенні товщини металу потрібна велика концентрація тепла і відповідно більший кут нахилу пальника. Установлено, що при газовому зварюванні металу товщиною до 1 мм кут нахилу пальника варто приймати рівним  $10^\circ$ . При товщині металу 1...3 мм -  $20^\circ$ , а при товщині металу 3...5 мм -  $30^\circ$ .

Технологія заварки тріщин залежить від їхньої довжини. Ділянка де виявлена тріщина, при необхідності попередньо виправляють ударним або опорним інструментом, зачищають до металу і за допомогою крейдо-керосинової проби встановлюють межі протяжності тріщини.

При коротких тріщинах, що виходять на краю металу, зварювання ведуть у напрямку до крайки і посилюють приваркою до крайки шва (із не лицевої сторони деталі) смужки сталі товщиною 3...4 мм і шириною 10... 12 мм.

Якщо тріщина розташована між двома отворами або від отвору виходить на крайку, заклепки варто видалити, заварити тріщину, після чого обробити отвори і заклепати.

Якщо тріщина розташована в середній частині листа в жорсткому контурі без виходу до крайок, виникають як подовжні, так і поперечні напруги. Для зварювання таких тріщин уздовж тріщини викладають охолодні компреси з вологого азбесту. На кінцях тріщини прогрівають метал до 100... 150° С. У результаті нагрівання виникають стискальні зусилля, що декілька розширюють тріщину. Заварку ведуть у напрямку від кінців тріщини до середини. При остиганні шва і скороченні його обсягу не буде великих усадочних напруг, тому що одночасно зі швом остивають і нагріті зони. У такий спосіб заварюють тріщини довжиною до 300 мм. Якщо тріщина має велику довжину, то для зменшення деформації й усадочних напруг застосовують зварювання зворотньоступеневим способом.

У ряді випадків, коли ушкоджена ділянка металу сильно зруйнована, її вирізують і ставлять латку.

Крапкове зварювання. При крапковому зварюванні з'єднання деталей виконується накладенням. Цим досягається можливість регулювання складальних розмірів і, крім того, одержати гладку зовнішню поверхню, необхідну для досягнення декоративного зовнішнього вигляду з'єднання. Для крапкового зварювання на авторемонтних заводах застосовують універсальні стаціонарні апарати з педальним або пневматичним механізмом стиску і два типи переносних апаратів: зварювальні кліщі пневматичної або пневмогідравличної дії й однополюсні пістолети для зварювання тих місць кузовів і кабін, що не можна зварювати двостороннім підводом току.

У ряді випадків, коли неможливий двосторонній підхід електродів до місця з'єднання, може бути використане одностороннє двохточічне зварювання.

На переносних апаратах зварювальний трансформатор розташований на деякій відстані від інструментів (клещей, пістолетів) і сполучений з ними спеціальним гнучким кабелем або складає з трансформатором єдине ціле при змонтованому трансформаторі. Для збільшення маневреності трансформатор і інструмент підвішують до візка і пересувають по монорельсу, прикріпленому до верхніх конструкцій, що дозволяє розширити фронт робіт.

У інших випадках трансформатор установлюють стаціонарно або на візку і пересувають.

Широке застосування знаходять однополюсні розпірні пістолети, що приєднуються до трансформатора пересувних зварювальних устроїв. Розпірні пістолети працюють по наступній принциповій схемі. У одному випадку один полюс повторної обмотки трансформатора підведений до електрода, а другий - до мідної шини, розташованої під деталями. В другому випадку обидва полюси приєднані до верхньої і нижньої мідної шини, причому цеп замикається через розпірний пістолет, що утворює перемичку. Зусилля на електродах створюються тиском на поршень пістолета.

При крапковому зварюванні пересувними апаратами деталей автомобільних кузовів, товщина верхнього матеріалу яких не перевищує 1,2 мм, широке застосування одержало так назване непряме зварювання, при якому внаслідок непрямого проходження току з'єднання не мають відбитків із боку декоративної поверхні. При цьому способі зварювання один із полюсів, установлених на пістолеті, підводиться до місця розташування зварювальної точки, а інший - до маси виробу. При непрямому зварюванні на стаціонарних устроях і односторонньому розташуванні електродів знизу під деталями розташовують сталеві подушки з мідними вставками, що сприяють відводу тепла від зовнішніх поверхонь.

Головні вимоги, запропоновані до електродів: висока електропровідність і зберігання форми робочої поверхні в процесі зварювання заданого числа точок. При крапковому зварюванні електроди нагріваються до високих температур у

результаті виділення теплоти безпосередньо в електродах і передачі її від зварюваних деталей. Ступінь нагрівання електродів залежить від застосовуваного режиму зварювання і товщини зварюваних деталей. Нагріта робоча частина електродів під дією зусиль може змінатися, що призводить до зміни щільності току і впливає на якість з'єднань. Перехід головного металу на електрод або металу електрода на деталь супроводжується окислюванням, що веде до ще більшого підвищення електродного опору, погіршенню металевому контакту і виникненню прожогів. Налипання металу електрода створює також осередки корозії.

Тому необхідно періодично зачищати робочу частину електрода наждаковим полотном, обгорнутим навколо плоского металевому оправлення або шматка гуми. Електроди зачищають після виконання визначеної кількості зварювань, число яких встановлюється відомим шляхом. Форма електрода залежить від конструкції вузла, що зварюється, і встановлюється таким чином, щоб забезпечити найбільш зручний підвід току до місця зварювання.

Найбільше поширення для крапкового зварювання одержали електроди з плоскою і сферичною поверхнею. Розміри робочої поверхні електродів вибирають у залежності від товщини деталей, що зварюються. Для більшості металів форма поверхні може бути плоскою або сферичною.

Електроди зі сферичною робочою поверхнею краще відводять теплоту, мають велику стійкість і менше дошкульні до перекосів осей електродів при їхньому установленні, чим електроди з плоскою робочою поверхнею, тому їх використовують при зварюванні на підвісних машинах (кліщах).

На практиці для зварювання різноманітних деталей і вузлів застосовуються різноманітні електроди і електрододержателі. Для одержання крапкових з'єднань стабільної якості краще застосовувати фігурні електрододержателі, чим фігурні електроди. Фігурні електрододержателі мають більший термін служби, а також кращі умови для охолодження електродів, що підвищує їхню стійкість.

Зварювання у вуглекислому газі. Широке застосування при ремонті кузовів одержало напівавтоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу. При зварюванні в захисних газах дуга, що виникає між електродом і головним металом, з усіх боків оточена газом, що подається під невеличким надлишковим тиском із сопла, звичайно розташованого концентрично електроду. Повітря, таким чином, виділяється із зони зварювання струменем газу.

Напівавтомати для зварювання в захисних газах виконуються звичайно у виді портативних переносних апаратів, що є проміжною ланкою між зварювальним автоматом і ручним інструментом. Вони являють собою так названу малу механізацію, що володіє універсальністю і маневреністю майже такою ж, як при ручному зварюванні.

Значний вплив на продуктивність процесу і властивості швів мають діаметр і марка електродного дроту, полярність і величина зварювального току; напруга на дузі; виліт електрода, швидкість зварювання і витрата вуглекислого газу. Найбільше поширення при ремонті кабін і кузовів одержало зварювання у вуглекислому газі на току оберненої полярності електродним дротом СВ-08ГС і СВ-082ГС діаметром 0,8... 1,2 мм.

Живлення вуглекислим газом здійснюється від окремих балонів або централізовано по цеховій магістралі.

Щоб забезпечити спокійне горіння дуги і мінімальне розбризкування рідкого металу, зварювання в середовищі вуглекислого газу здійснюють на можливо більш короткій дузі (1,5...2,0 мм) і при швидкому переміщенні газоелектричного пальника. На якість захисту розплавленого металу від атмосферного повітря впливає відстань від сопла пальника до деталі. При зварюванні силою току до 100 А, напругою 19...20 В. Оптимальна відстань від деталі складає 8... 10 мм. Для одержання якісного шва виліт електрода з горілки повинен бути 10...12 мм, а нахил електрода від вертикалі не повинний перевищувати 18... 20°.

Електрозаклепочне дугове зварювання. При зварюванні електрозаклепками в більшості випадків застосовується дуговий процес без переміщення дуги і без

подачі електродного дроту в зону дуги. Електродний дріт або стрижень з електродного дроту, діаметром від 3 до 6 мм зміцнюється в спеціальному тримачі електрозаклепочнику з контактним наконечником і закорочується на виробі в місці постановки заклепки. Потім уся зона навколо електрода засипається флюсом. Напруга від джерела живлення постійного або перемінного току підводиться до зварювальної деталі і до електрода. При вмиканні току відбувається розплавлення кінця електрода в місці його контакту із зварювальним виробом. Збуджується дуга, що, оплавляючи кінець електрода і заварюючи заклепку, подовжується доти, поки не наступить її природний обрив.

Такі електрозаклепки можна ставити як без отвору в приварювальному листі, так і по отворі. У першому випадку відбувається наскрізне проплавлення верхнього листа і розплавлення поверхні нижнього, як це буває при зварюванні прорізного шва. У другому випадку наплавляється отвір у верхньому листі і проплавляється поверхня нижнього.

Перший спосіб дешевше, тому що не потребує попереднього пробивання отворів. Крім того, він не вимогливий до точності встановлення електрода на виріб, тому що ця операція не пов'язана з розташуванням отворів у верхньому листі. Проте застосування цього способу лімітується товщиною верхнього листа. При товщинах понад 6... 8 мм потрібний занадто великий струм для наскрізного проплавлення листівці спосіб стає не вигідним, або неможливим. Тому при товщинах понад 6...8 мм віддають перевагу постановці електрозаклепок по отворах у верхньому листі.

Зварювання електрозаклепками здійснюється за допомогою переносних або стаціонарних електрозаклепочників. У серійному і масовому виробництві застосовують спеціалізовані машини для зварювання декількох електрозаклепок - багато електродні або багатоточечні машини, що мають велику продуктивність і високий ступінь автоматизації процесу.

Електрозаклепочники, як і багатоточечні машини, у більшості поширених систем призначені для зварювання під флюсом, проте останнім часом одержало

також поширення електрозаклепочне устаткування для зварювання в захисних газах (вуглекислому газу або аргону).

Зварювання електрозаклепками може здійснюватися і тонким електродним дротом із подачею електрода в зону дуги, наприклад за допомогою звичайного зварювального напівавтомата. Процес зварювання в цьому випадку відрізняється від процесу зварювання протяжних швів тільки відсутністю переміщення дуги уздовж зварювального виробу. Зварювальні шви і електрозаклепки виконуються дротом Св-082ГС діаметром 1,6 мм при величині току 240...260 А, напрузі на дузі 32...35 В.

### **7.5 Усунення ушкоджень у кузові автомобіля заміною негідних панелей ремонтними**

Такий ремонт не являє собою труднощів при заміні непридатної панелі, прикріпленої до каркаса, наприклад, заклепками. Набагато складніше виконати такий ремонт на суцільнометалевому кузові зварної конструкції і з панелями складної геометричної форми.

Робота ускладнюється ще і тим, що деякі ремонтні панелі не входять у номенклатуру запасних частин і їх необхідно виготовляти безпосередньо в цехах авторемонтного підприємства.

Виготовлення кузовних ремонтних деталей. Головними етапами підготування виробництва до виготовлення ремонтних деталей є виявлення найменувань (типорозмірів) деталей та розробка технологічного процесу виготовлення деталей. Перший етап полягає у вивченні великої кількості металевих кузовів (кабін, оперення), що надійшли в ремонт, і виявленні ділянок панелей і оперення, що руйнуються часто.

Більшість кузовних ремонтних деталей може бути приведена до порівняно невеликого числа груп, що мають однаковий план опрацювання. У основу типізації прийнята класифікація виготовлених деталей за технологічними ознаками, які визначають характер технологічного процесу їх виготовлення. Найголовнішою технологічною ознакою для деталей кузова є їхня форма. З



цього погляду всі кузовні деталі, що виготовляються з листової сталі, можна розбити на три групи: неглибокі положисті деталі, що виконуються вирізкою по контурі; просторові деталі, виконуються більш складним гнучким або неглибоким формуванням; порожнисті просторові деталі неправильної геометричної асиметричної або симетричної форми, що виконуються витяжкою різноманітного ступеня.

Від технології виготовлення деталей в значній мірі залежить і їхня якість. Типовий склад процесу виготовлення ремонтних деталей на авторемонтних заводах складається з таких головних операцій: правка листа сталі; розкрій листа; різання заготівель по розмітці; загинання деталей або формування на спеціальному устаткуванні; обрізка готових деталей; свердлення; правка і зачищення. Останні три операції виконують при постановці і підгонці деталей на операція ремонту кузова.

На спеціалізованих кузоворемонтних виробництвах при наявності великої виробничої програми ремонтні деталі кузова виготовляють штампуванням на пресах або обтяжкою.

Ремонт кузова постановкою ремонтній: деталей. Процес ремонту кузова постановкою ремонтних деталей починають із підготування до ремонту, що включає такі роботи: звільнення кузова від укріплених до нього деталей і деталей, що можуть перешкоджати виконанню ремонтного процесу або можуть бути ушкоджені в процесі ремонту; розмітка межі ділянки панелі (за результатами дефектації) по шаблонах; видалення ушкоджено ділянки кузова; ремонт деталей каркаса кузова, що знаходяться під видаленою панеллю; правка панелей, сполучених с видаленою ділянкою й опрацювання їхніх крайок, не знятих із кузова; усунення зварюванням тріщин і розірвань на кузові. На підготовленій у такий спосіб ділянці встановлюють нові панелі або частину панелей.

Складність видалення нерідних панелей залежить у головному від способу їхнього кріплення до каркаса кузова.

У суцільнометалевих кузовах зварної конструкції панелі сполучені між собою різноманітними видами зварювання (контактним, газовим або електрозварюванням). У автобусних кузовах є зварювальні і заклепочні з'єднання.

Панелі, що є частиною всього корпусу зварної конструкції, вирізують газовим різакром (кисневе різання з використанням ацетилену або скраплених газів, електрифікованим фрезерним інструментом або пневматичним різакром. Клепані шви роз'єднують видаленням голівки заклепки. Деталі, закріплені крапковим зварюванням, можна роз'єднати, попередньо намітив зварні точки керном, а потім просвердлити місця зварювання через верхній лист. Іноді такі з'єднання вдається розрубати гострим тонким зубилом без руйнації придатних деталей, до яких необхідно приварити нову панель.

Після зняття зруйнованої деталі (панелі, крила), привареної до кузова крапковим зварюванням, необхідно видалити тонким гострим ув'язненим зубилом смужки, знятої деталі в з'єднаннях із кузовом, і зачистити шліфувальною машинкою посадкові місця елементів кузова.

Складність операцій і обсяг робіт при постановці нових панелей (частин панелей) на кузов залежить від старанності виготовлення панелі і від способу її кріплення до кузова. Знову виготовлені на авторемонтних заводах панелі звичайно потребують припасування до місця їхнього кріплення на кузові. Приганяльні роботи частіше усього зводяться до розмітки панелі по прорізі в кузові і вирізці деталі по розмітці або з допуском для кріплення внахліст, свердленню отворів у панелях, кріплення яких здійснюється за допомогою заклепок; зачищенню заусенців і підгонці крайок при зварюванні встик.

Для виявлення надлишку металу нову панель накладають на проміжок у кузові до місця її кріплення і розмічають по крайках контурів сполучених із нею панелей. При кріпленні панелі встик виявлений надлишок металу відрізають по розмітці, а при кріпленні внахліст - по допуску, наміченому паралельно лінії розмітки.

З'єднання панелей встик звичайно здійснюється зварюванням у середовищі вуглекислого газу або газового зварювання, а з'єднання внахліст - тими ж способами, що при з'єднанні встик, а також крапковим зварюванням. У кузовах клепаної конструкції застосовуються звичайні заклепки і електрозаклепки.

У нахлістних з'єднаннях у зовнішніх поверхнях деталей кузовів доцільна під штамповка або підсадження на зигмашині однієї з крайок деталі щоб уникнути появи «сходинки» у з'єднанні. При відсутності необхідного устаткування підсадження можна виконати ударним і опорним інструментом.

Підсадження крайок надає деяку жорсткість з'єднанню й утворює своєрідну підкладку, що перешкоджає коробленню металу при правильному веденні процесу зварювання і протіканню припою, якщо застосовується наступна спайка з'єднання. Такий тип з'єднання дозволяє за рахунок внахлісту декілька зміщати деталі при складанні для дотримання загального розміру і тим самим виправляти неточність складання. На відміну від зварювання деталей встик не потрібні точний збіг крайок, проте, необхідна збіг поверхонь по площині. Поверхні і металу в місцях внахлісту повинні бути зачищені від корозії і покриті спеціальними фарбами, клеєм або іншими анти корами.

Ремонтна деталь може бути закріплена затискачами для зварювання або прихватком у декількох точках за допомогою зварювання. Щоб уникнути короблення металу панелей у процесі зварювання при відсутності підсадження крайок, як показано вище, для обмеження поширення тепла пальники уздовж лінії зварювання обкладають вологим азбестом. Для зварювання застосовують в якості присадочний матеріал відпалений м'який дріт СВ-08 діаметром 1,5...3 мм. У процесі зварювання і по його закінченні зварювальні шви проковують. Після приварки ремонтних деталей зварювальні шви зачищають, і панелі кузова рихтують.

## **7.6 Усунення ушкоджень в елементах каркасів автобусних кузовів**

Ремонт елементів каркаса сучасних автобусних кузовів полягає в усуненні ушкоджень, що виникають у результаті корозії, усталосних тріщин, а також аварійних ушкоджень. У залежності від ступеня руйнації того або іншого вузла (деталі) вибирається метод ремонту: уведення додаткових ремонтних деталей або просте накладення додаткових зварювальних швів. Способи ремонту визначаються характером тріщин. Після появи тріщин у шві вперше припускається знову накласти шов по тріщині з запасом в обидві сторони від кінця тріщини на 20...30 мм. При повторній появі тріщин у зварювальному шві його варто виробити і знову заварити. Часткове або повне відновлення шва наплавленням здійснюється при наявності невеликого корозійного зносу у виді заглиблення шва в головний метал. Зварювання рекомендується виконувати в захисному середовищі вуглекислого газу після зачищення корозії. Щільність швів повинна виключити вилучення вологи в усіх випадках зварювання. Якщо неможливо відновити ушкоджену деталь або частину її зварюванням безпосередньо на каркасі її необхідно зрізати і приварити нову, виготовлену з відповідної сталі.

Більш докладно питання «Усунення ушкоджень в елементах каркасів автобусних кузовів» розглянутій в роботі [10].

## **7.7 Ремонт кузовів автомобілів-самоскидів**

Ремонт кузовів автомобілів самоскидів у порівнянні з кузовами, виготовленими з тонколистової сталі, значно ускладнюється тим, що жорсткий каркас кузова, виготовлений із профільного прокату і облицьований товстолистовою сталлю, важко піддається правці. Правка товстолистової обшивки можлива при невеликих розмірах і стрілі прогину вм'ятини термомеханічним способом.

Вм'ятини нагрівають у найбільш деформованому місці до температури 750...800°C широким полум'ям пальника. Взаємодія нагрітих і холодних ділянок при правці товстолистових конструкцій незначна.

Зовнішнє зусилля в процесі правки може бути створено гідравлічними пресами, домкратами, віджимними скобами або ударами молота.

Для правки вертикально розташованих конструкцій використовують знімні переносні балки, що закріплюються тимчасовими упорами.

При великих деформаціях для полегшення правки у вершині вм'ятини можна зробити розтин. Деформовані частини листа спочатку правлять окремо. Після закінчення правки обробляють крайки і зварюють їх.

Вузли кузова правлять термомеханічним способом. Невеликі деформації усувають нагріванням. Подовжнє укорочення досягається нагріванням опуклої сторони профілю або наплавленням на цій поверхні холостих валиків із таким наміром, щоб при остиганні одержати необхідний згинаючий момент оберненого знака.

Правка за рахунок поперечного укорочення є найбільш ефективною і здійснюється нагріванням клиновидних поперечних смуг, розташованих вище нейтральної осі перетину.

Частота розташування клиновидних зон нагрівання по довжині балки визначається характером деформації (із таким наміром, щоб при правці не утворилося різких зломів). Правку можна прискорити за рахунок додаткового зовнішнього зусилля.

Дві пов'язані між собою жорсткі конструкції перед правкою роз'єднують. Одна з конструкцій у разі потреби може бути вирізана і замінена новою. При наявності глибоких ум'ятин, що не піддаються правці або потребують значну витрату часу для їхнього усунення, ділянку, що підлягає ремонту, облицьовують листовою сталлю товщиною 4...5 мм, яку приварюють суцільним швом так, щоб латка виявилася запідлице з прилягаючою до неї поверхнею.

При наявності тріщин у профільному прокаті, що охоплюють не більш половини висоти полки балки, тріщини заварюють, зварювальний шов зачищають і посилюють приваркою пластини товщиною 10 мм.

При зламі поперечної балки каркаса кузова цю балку зрізують у місцях кріплення до кузова, зрубують і зачищають напливи від зварювання. Установлюють на кузов нову балку і приварюють її по місцях кріплення.

### **Питання для самоконтролю**

1. Правка ушкоджень панелей кузова автомобілів за допомогою механічного впливу.
2. У чому полягає сутність термічного способу правки кузовних деталей?
3. Яким чином відтворюється вирівнювання поверхонь у панелях за допомогою пластичних мас?
4. Які існують способи усунення ушкоджень у кузовних автомобілів зварюванням?
5. Як відтворюється усунення ушкоджень кузовів автомобілів заміною не придатних панелей ремонтними?

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Коробочка О.М., Рудасьов В.Б. Прогресивні технології відновлення і ремонту кузовних деталей автомобілів. «Системні технології», 2002 р., -127 стор.
2. Технология изготовления автомобильных кузовов. "Автомобилестроение (кузовостроение)" / Д.В. Горячий, А.Д. Горячий, Г.И. Захаров и др. - М.: Машиностроение, 2000. - 352 с.
3. Колесник П.А. Материаловедение на автомобильном транспорте. Учебник для студентов вузов. М.: Транспорт, 1990. - 280 с.
4. Краткий справочник по автомобильным эксплуатационным материалам. - М.: Транспорт, 1992. - 120 с.
5. Кац А.М. Автомобильные кузова: Техн. Обслуживание и ремонт. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1999. - 272 с.
6. Испытания автомобилей / В.Б. Цимбалин, В.Н. Кравец, С.М. Кудрявцев и др. - М.: Машиностроение, 1998. - 199 с.
7. Автомобильные материалы: Справочник. - 3-е изд., переаб. и доп. / Г.В. Мотовилин, М.А. Масино, О.М. Суворов. - М.: Транспорт, 2003. - 464с.

**НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ**

Конспект лекцій з дисципліни “Прогресивні технології відновлення і ремонту кузовних деталей автомобілів” для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» за освітньо-професійною програмою «Автомобільний транспорт» /Укл. к.т.н. Д.З.Шматко – Кам’янське : ДДТУ, 2020 р – 88 с.

Укладач: Шматко Дмитро Захарович, к.т.н., доцент

---

51900, м. Кам’янське, вул. Дніпробудівська, 2

Підписано до друку \_\_\_\_\_ 2020 р. Формат  А5

Обсяг \_\_\_\_\_ д.а. Тираж  40  екз. Замовлення \_\_\_\_\_

Ксерокс