

РОЗДІЛ «МАШИНОБУДУВАННЯ»

УДК 669.056.017:621.373.826

КОЗІНА Н.М., к.фіз.-мат.н., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО НАСИЧЕННЯ БОРОМ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ СІРОГО ЧАВУНУ

Вступ. Важливим напрямом в розвитку сучасного машинобудування є отримання високих механічних властивостей деталей машин і інструментів, що працюють у несприятливих експлуатаційних умовах. Для реалізації цього напряму ефективно використовують різноманітні методи лазерної обробки, створюючи при цьому поверхневі шари з підвищеними міцнісними властивостями.

Розроблені до теперішнього часу стосовно залізвуглецевих сплавів методи лазерної обробки в більшості випадків засновані на використанні фазових перетворень, що протікають в твердому стані, тоді як можливості цілеспрямованого змінення хімічного складу поверхневих шарів матеріалу і створення гранично метастабільних структур, що закладені в методі лазерного легування, в плані їх практичного використання вивчені недостатньо.

Постановка задачі. Актуальним рішенням згаданої вище проблеми є дослідження впливу лазерного легування на структурно-фазовий стан і механічні властивості залізвуглецевих сплавів з метою визначення оптимальних режимів поверхневого зміцнення готових виробів.

Результати роботи. З метою реалізації поставлених в роботі задач в якості об'єкту дослідження використовували зразки сірого чавуну СЧ15. Операцію лазерного легування бором досліджуваних зразків здійснювали шляхом оплавлення обмазки на основі порошку чорного аморфного бору і зв'язки із клею БФ-6 (10%) і ацетону (90%) випромінюванням безперервного CO₂-лазера ($\lambda = 10,6 \text{ \AA}$). Легуюче покриття наносили м'яким пензлем тонким шаром на одну зі сторін зразків, виготовлених у формі прямокутного паралелепіпеда (20x10x10 мм). Товщина δ одношарового покриття складала 200 мкм.

Підготовлені зразки розміщали на двокоординатному предметному столі, який забезпечував переміщення оброблюваної поверхні відносно лазерного променя із заданою лінійною швидкістю V . Ширину лазерної доріжки d_n визначали, змінюючи відстань від зразка до фокальної площини. Коефіцієнт перекриття сусідніх лазерних доріжок складав $K=0,5$. Щільність потужності лазерного випромінювання складала $Q = 6,25 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2$.

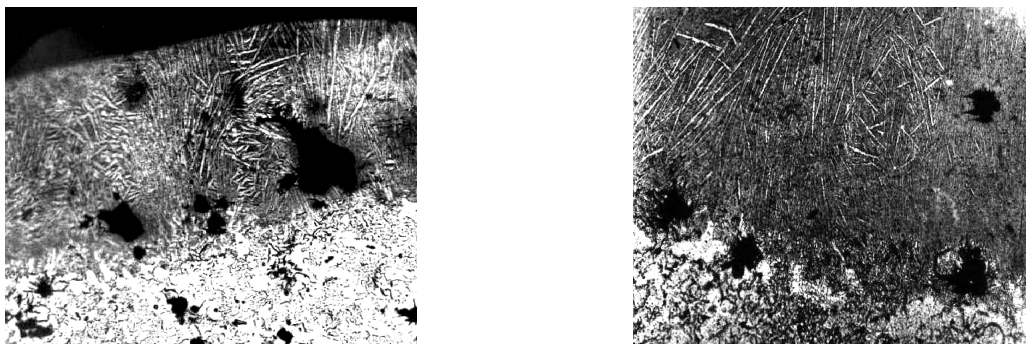
Дослідження структурно-фазового стану і властивостей зони лазерного насичення бором здійснювали методами металографічного, рентгенофазового і дюрOMETричного аналізів. Металографічні дослідження у площині обробки і у поперечному перерізі лазерних доріжок здійснювали за допомогою оптичних мікроскопів МІМ-7, НЕОРНОТ-32.

Рентгенофазовий аналіз досліджуваних сталей у вихідному стані і після лазерної обробки проводили на дифрактометрі ДРОН-3 у монохроматизованому Cu_{K α} випромінюванні з автоматичним записом дифракційних спектрів у інтервалі кутів відбиття $2\theta=20^0 \div 150^0$.

Вплив лазерного легування бором на зміцнення поверхневих, а також властивості глибинних шарів матричного матеріалу вивчали методом дюрOMETричного аналізу, який виконували на приладі ПМТ-3 при навантаженні $P = 50 \text{ г}$. Розподіл мікротвердості

за глибиною зони лазерного легування бором визначали шляхом замірів по мірі віддалення від поверхні вглиб матеріалу на відстань $d = 1000 \div 1500$ мкм з інтервалом $\Delta = 20 \div 50$ мкм.

На рис.1 наведено мікроструктури поперечного перерізу зони лазерного насичення бором сірого чавуну. Встановлено, що глибина оплавлення складає $d \sim 350$ мкм. З мікрознімків видно, що лазерне легування бором поверхневих шарів сірого чавуну призводить до повного розчинення пластинчастого графіту в розплаві і формування тонкодисперсної структури з первинними голчастими кристалами, які затверділи під різними кутами до поверхні зразка. Характерною особливістю насичених бором поверхневих шарів є наявність крупних газових порожнин. Джерелом газових порожнин можуть слугувати пластини графіту в оплавленій зоні, з яких «видуваються» газові міхури з боку граней, що знаходяться в оточенні рідкого металу. Міхури, що утворилися, частково або повністю заповнюються розплавом [1].



а

б

а – $\times 125$; б – $\times 320$

Рисунок 1 – Мікроструктура сірого чавуну після лазерного насичення бором

Безпосередньо під легованим бором шаром розташовується зона з частково оплавленою структурою, в якій виявляється тонкодисперсна графітна евтектика. Формування мікроструктури на граничних з матричним матеріалом ділянках можна пояснити наступним чином. Навколо графітних включень, присутніх у великій кількості, відбувається насичення вуглецем металевої матриці і пониження температури плавлення відповідно до діаграми стану Fe-Fe₃C у зв'язку з контактним плавленням на границі залізо - графіт. Можна також відзначити, що з одного боку, такий графіт добре розчиняється в розплаві і насичує його вуглецем. З іншого боку, при цьому в розплаві виникає значна кількість центрів графітизації, що обумовлює в умовах швидкого охолодження такого розплаву випадання вельми дисперсної графітної фази. При цьому кількість графітної евтектичної складової може знижуватися, а відповідно і зменшуватися її твердість. Дійсно, значення мікротвердості структури, що містить графітну евтектику, в середньому склали $H_c = 6,25$ ГПа. Отримані експериментальні дані корелюють з даними авторів роботи [2].

Мікроструктури, що показані на рис.2, ілюструють особливості структури зони лазерного насичення бором сірого чавуну. Видно, що мікроділянки заевтектичного сплаву системи Fe-C-B демонструють анізотропію швидкості росту первинних кристалів бороцементиту, що формуються у вигляді плоских дендритів з базисною площиною (001) (рис.2, а). Основний мотив структури бороцементиту обумовлений механізмом тангенціального росту грані, який детально вивчений у [3].

Перпендикулярно до пластин бороцементиту розташовуються первинні кристали, які за морфологічними ознаками відповідають бориду Fe₂B. Анізотропія боро-

цементиту і великі швидкості охолодження призводять до формування сферолітів евтектичної складової, тобто віялового розвороту відгалужень і їх стоншування в умовах великих переохолоджень. Утворення заевтектичної структури сплаву Fe-C-B в зоні лазерного легування досліджуваного зразка обумовлено підвищеним вмістом вуглецю в рідкій ванні розплаву унаслідок розчинення графітних пластинок, а також насиченням рідини бором.



а



б

Рисунок 2 – Фрагменти мікроструктури зони лазерного борування сірого чавуну, x1000

Розшифровка дифрактограм, отриманих при відбитті рентгенівського $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$ випромінювання від поверхні зони лазерного насичення бором сірого чавуну, показала, що фазовий склад у порівнянні з вихідним станом (α - твердий розчин і вуглець) значно ускладнюється. Після лазерного насичення бором в поверхневих шарах сірого чавуну, окрім α -твердого розчину на основі заліза, утворюються також фази, що відповідають рівноважним діаграмам стану сплавів Fe-B і Fe-B-C, – бориди заліза Fe_2B і FeB , а також бороцемент $\text{Fe}_3(\text{B},\text{C})$ відповідно.

Результати вимірювання мікротвердості в поперечному перетині зони лазерного насичення бором сірого чавуну показані на рис.3, з якого видно, що твердість в легованому бором поверхневому шарі поступово знижується від поверхні до границі оплавлення від $H_{\text{ц}} = 13,7$ ГПа до $H_{\text{ц}} = 9,5-11,5$ ГПа відповідно. До глибини ~ 260 мкм твердість практично не змінюється, що свідчить про рівномірний розподіл легуючого елементу і утворення однорідної структури. При наближенні до матричного матеріалу крива залежності $H_{\text{ц}} = f(d)$ різко знижується. Отримані значення $H_{\text{ц}}$ свідчать, що лазерне легування бором сірого чавуну викликає значне зміцнення поверхневих шарів. У зоні лазерного насичення бором максимальні значення твердості перевищують в середньому у 6,2 разів твердість матричного матеріалу.

З механізмів, що розглядаються в теорії зміцнення, найефективнішим за впливом на властивості об'єктів, що вивчаються, слід визнати створення в зоні лазерного легування гетерофазної структури з високою щільністю дисперсних кристалів хімічних з'єднань – боридів і борокарбідів. Крім того, відомі сплави, в яких підвищення міцнісних характеристик відбувається виключно за рахунок диспергування фаз, що ведуть кристалізацію. Прикладами такого роду зміцнення служать сплави систем Al-Si і Al-Fe [3].

Із зазначеного вище витікає, що спостережуване істотне подрібнення первинних кристалів високобористих фаз дійсно може служити однією з основних причин зміцнення зони лазерного легування бором сірого чавуну. Друга передбачувана причина зміцнення об'єднує групу явищ, пов'язаних з утворенням перенасиченого твердого розчину на основі заліза. Згідно із сучасними уявленнями до їх числа відносяться: збільшення сил тертя при русі дислокацій; блокування дислокацій атомами компоненту, що розчиняється; зміна структури дислокації унаслідок зниження енергії дефектів упаковки. В більшості випадків перераховані механізми діють спільно, і внесок кожного з них

в рівень властивостей, що досягаються, кількісно оцінити дуже складно. Узагальненим їх проявом є спостережуване експериментально збільшення межі текучості й інших міцнісних характеристик із зростанням насиченості твердого розчину. Причому, у разі утворення розчинів заміщення властивості зв'язані лінійною залежністю із вмістом елемента, що розчиняється, тоді як твердим розчином втілення на основі ОЦК-металів властива пропорційність міцнісних властивостей кореню квадратному з концентрації.

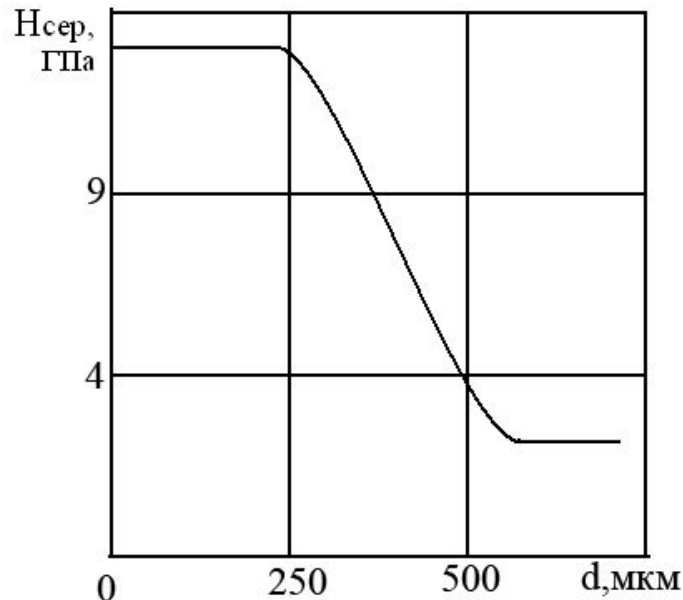


Рисунок 3 – Розподіл мікротвердості за глибиною зони лазерного насичення бором сірого чавуну

Оцінюючи імовірність здійснення даних явищ при лазерному насиченні бором сірого чавуну, відзначимо, що загартуванням розплаву із швидкостями охолодження до $\sim 10^8$ К/с авторам робіт [5] вдалося зафіксувати в ґратці α -заліза близько 12 ат.%В, тоді як в рівноважних умовах розчинність бору в α -залізі дуже мала (0,0002 ат.%) [4]. При легуванні сірого чавуну внаслідок критичних умов кристалізації ймовірно утворення перенасиченого розчину вуглецю і бору в α -Fe, що буде викликати зміцнення структури в зоні оплавлення.

Нарешті, ще одним джерелом зміцнення зони лазерного легування може бути подрібнення блоків мозаїки, а також накопичення пружних мікродеформацій й інших дефектів ґратки твердого розчину, які властиві продуктам, що були загартовані з рідкого стану. Складні рентгенівські картини розсіяння утруднюють достатньо коректне виділення з їх ряду неспотворених профілів інтерференційних ліній твердого розчину. Ця обставина робить неможливим застосування відомих дифракційних методів аналізу для безпосереднього виділення деталей тонкої кристалічної структури, які виконують важливу роль у формуванні міцнісних властивостей базової фази. Проте, знання характеру взаємозв'язку даних чинників з властивостями і тенденції їх залежності від швидкості охолодження дозволяє з достатньою упевненістю прогнозувати, що в сумарну величину зміцнення разом з ефектами диспергування надлишкових фаз і утворення перенасиченого твердого розчину значний внесок вносять також виникаючі при лазерній обробці зміни в тонкій кристалічній структурі.

Висновки. Таким чином, лазерне борування є ефективним методом покращення міцнісних характеристик сірого чавуну. Це дає змогу говорити про перспективність за-

стосування цього методу для підвищення механічних характеристик поверхневих шарів конструкційних матеріалів, таких, наприклад, як підшипники і втулки, що працюють в жорстких експлуатаційних умовах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов / [Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В., Кокора А.Н.]. – М.: Машиностроение, 1985. – 496с.
2. Воинов С.С. Лазерная обработка поверхности металлов и сплавов / С.С.Воинов, Е.А.Шур // Физика и технология обработки поверхности металлов. – 1984. – № 4. – С.129-139.
3. Таран Ю.Н. Структура эвтектических сплавов / Ю.Н.Таран, В.И.Мазур. – М.: Металлургия, 1978. – 312с.
4. Банных О.А. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа / Банных О.А., Будберг П.Б., Алисова С.П. – М.: Металлургия, 1986. – 440с.
5. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния / Мирошниченко И.С. – М.: Металлургия, 1982. – 162с.

УДК 621.924.229.86

ВЕРНИГОРА В.Д., ст. викладач

Дніпродзержинський державний технічний університет

ОЧИЩЕННЯ ШЛАМУ АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ВІД МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧИХ РІДИН

Вступ. У процесі розробки комплексної системи устаткування для вилучення металевих часток зі шламів абразивної обробки металів одним з основних питань є розміри займаної площі даним устаткуванням. Зокрема для здійснення процесу мийки й поділу металевих і абразивних часток за щільністю авторами [1] запропоновано здійснювати даний процес одночасно в миючому жолобі.

Довжина жолоба залежить від часу мийки металевих і абразивних часток шламу абразивної обробки металів, що рухаються в потоці миючого розчину. До складу шламу абразивної обробки металів входять МОР (мастильно-охолоджуючі рідини), які необхідно відмити від металевих і абразивних часток для подальшого поділу відповідних часток за щільністю в потоці миючого розчину, що рухається.

Постановка задачі. З метою мінімізації довжини миючого жолоба дослідження процесу мийки металевих і абразивних часток шламу абразивної обробки металів проводилися з ціллю визначення мінімально необхідного часу миття, за який в миючий розчин перейде якнайбільша кількість забруднення.

Результати роботи. Для приготування мийних засобів, призначених для очищення металевих поверхонь, застосовують синтетичні поверхнево-активні речовини (ПАР). За здатністю дисоціації у водних розчинах ПАР розділені на іоногені, амфолітні та не іоногені.

Останнім часом найбільшого поширення у всіх процесах очищення одержали синтетичні мийні засоби (СМЗ). Основу СМЗ складають поверхнево-активні речовини, активність яких підвищена введенням лужних електролітів. Розчини СМЗ за миючою здатністю перевершують розчини їдкого натру і різних лужних солей. Миюча здатність різних СМЗ наведена в табл.1 [2].

Таблиця 1 – Миюча здатність СМЗ

Миючий за- сіб	Концентра- ція, г/л	Чистота поверхні в балах в залежності від часу очистки, с					
		30	60	90	120	180	240
Їдкий натр	15 - 25	2	4	-	5	6,5	7
Лабомід-203	30	3	7	8,5	10	10	-
МЛ-52	30	3,5	7,5	9	10	10	-
МС-6	30	2	4,5	7	8	9,5	10
МС-8	30	3,5	7,5	9	10	10	-

Розчини СМЗ допускають одночасне очищення деталей із чорних, кольорових і легких металів і сплавів. Вузли і деталі, що підлягають нетривалому зберіганню (10-15 днів), після очищення розчинами СМЗ не мають потреби в додатковій антикорозійній обробці. Антикорозійний захист забезпечується за рахунок силікатів, що входять до складу СМЗ.

Найбільш широке застосування в якості інгібіторів корозії одержали силікати, фосфати, нітроти, хромати і різні інгібітори органічного походження, а також їхні суміші.

Силікати натрію є ефективними інгібіторами корозії в лужних середовищах для чорних (сталь, чавун) і кольорових (алюміній, мідь, цинк) металів і сплавів. Захист від корозії силікатами досягається за рахунок утворення захисних плівок, що містить кремній. Сучасні синтетичні мийні засоби МЛ, Лабомід, МС і інші містять у своїй сполуці силікати у вигляді рідкого скла або метасиліката натрію, що забезпечує високий інгібуючий ефект.

Очищення поверхні в різних миючих середовищах проводиться при спільному впливі на забруднення механічного впливу потоку і фізико-хімічної активності середовища. Ефективність очищення визначається за збитком забруднення з поверхні. Чим більше забруднень вилучено з поверхні за певний час, тим ефективніший спосіб очищення.

Ефективність очищення поверхні твердих часток визначається за збитком забруднень із їхньої поверхні. Час очищення поверхні твердих часток від забруднень визначається за формулою [2]:

$$t = \frac{1}{M_c \cdot 10^3}, \text{ с}, \quad (1)$$

де M_c – миюча здатність у відносних одиницях; t – час миття, с; 10^3 – коефіцієнт, що дозволяє представити результати у формі, зручній для порівняння.

Для визначення ефективності мийних засобів необхідно провести порівняння декількох таких засобів.

У табл.2 наведена порівняльна характеристика за миючою здатністю деяких СМЗ.

Таблиця 2 – Характеристика по миючій здатності деяких СМЗ

Найменування СМЗ	Їдкий натр	Лабомід -101	МС-8	Лабомід -203
Мс	2,8	8	16	18
Час миття, с	357	125	63	55

Робочі концентрації розчинів СМЗ залежать від забруднення поверхні і становлять 5...20 г/л. При низькій ефективності мийних засобів збільшення їхньої концентрації більше 30 г/л не дає бажаних результатів [2].

Експериментальні дослідження з очищення від залишків мастильно-охолоджуючих рідин металевих і абразивних часток шламу абразивної обробки металів проводились наступним методом. У якості МОР використовувалося мінеральне масло І – 20. Як миючі засоби використовувалися синтетичні мийні засоби (СМЗ) «Лабомід», «Їдкий натр» і «Тімлайт» в 10%, 20% і 30 % розчинах з температурою 25°C.

На металеву сітчасту пластинку розміром 60 x 10 x 0,5 мм наносилася певна кількість масла І-20 - $M_{\text{масла}}$, що займає на пластинці площу F. Перед цим сітчасту пластинку промивали в очищеному бензині і розчині аміаку. Сушили її при природних умовах (температурі 20-25°C) протягом 12 годин. Зважували чисту висушену пластинку на аналітичних вагах ВЛ-200, а потім наносили на неї масло і знову зважували. У градуїровану пробірку наливали миючий розчин обсягом 10 мл і в нього опускали забруднену маслом сітчасту пластинку на відповідний час τ , (15, 60, 120, 180 с), при цьому надавали пластинці зворотно-поступальний рух у миючому розчині. Через деякий час τ , с, пластинку виймали із пробірки, даючи стекти до останньої краплі миючому розчину в пробірку. Просушували пластинку за тих самих умов, що й раніше. Потім зважували пластинку і математично визначали залишок масла на пластинці і кількість масла, що перейшло в миючий розчин після мийки у відповідному миючому розчині певної концентрації та температурі розчину. Дані дослідження наведені на графіках (рис.1-3).

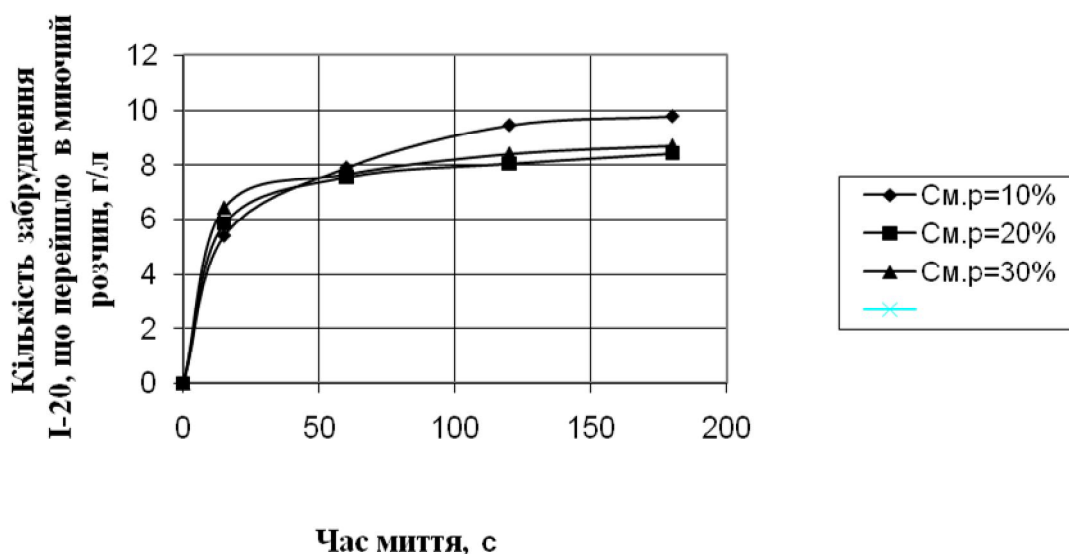


Рисунок 1 – Очищення твердих часток шламу абразивної обробки металів від забруднення І – 20 у миючому розчині «Лабомід» різної концентрації (10%, 20%, 30%) при температурі розчину $T = 25^{\circ}\text{C}$

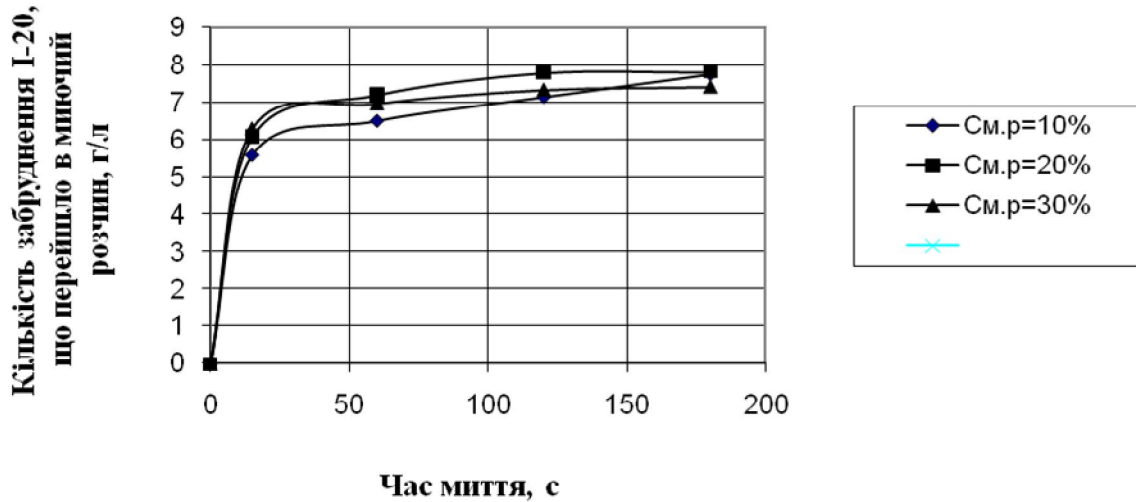


Рисунок 2 – Очищення твердих часток шламу абразивної обробки металів від забруднення I – 20 у миючому розчині «Ідкий натр» різної концентрації (10%, 20%, 30%) при температурі розчину $T = 25^{\circ}\text{C}$

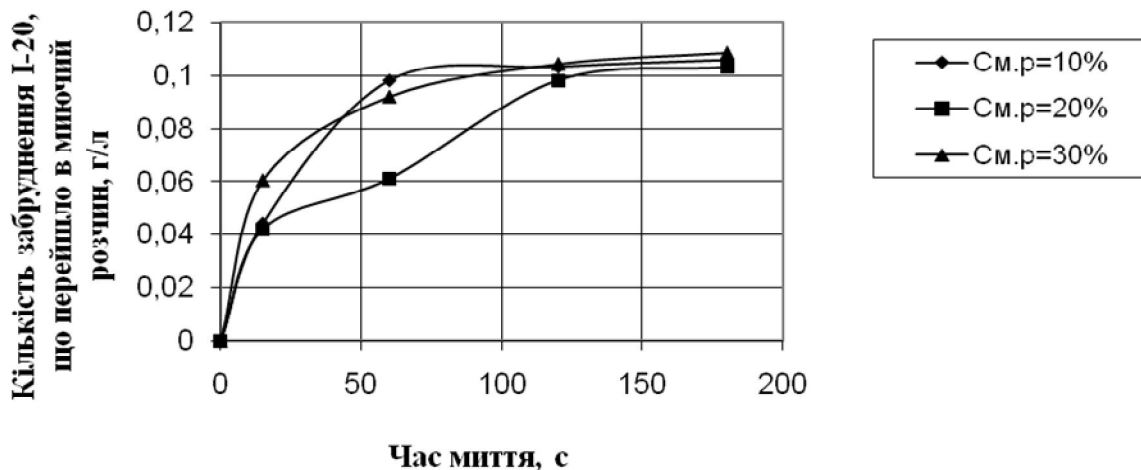


Рисунок 3 – Очищення твердих часток шламу абразивної обробки металів від забруднення I – 20 у миючому розчині «Тімлайт» різної концентрації (10%, 20%, 30%) при температурі розчину $T = 25^{\circ}\text{C}$

Висновки. Виходячи із результатів проведених досліджень, можна зробити висновок, що при мийці шламу абразивної обробки у відповідних миючих розчинах стабілізація переходу найбільшої кількості забруднення в миючий розчин відбувається за час, що дорівнює 120 с, як зображено на рис.1-3. Отже, знаючи час мийки металевих і абразивних часток шламу абразивної обробки металів і швидкість їхнього руху в миючому потоці можна визначити довжину жолоба, що дає можливість мінімізувати площу, необхідну для розміщення комплексної системи устаткування для вилучення металевих часток із шламі абразивної обробки металів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вернигора В.Д. Извлечение металлических частиц из шламов абразивной обработки металлов / В.Д.Вернигора, А.Н.Коробочка // Збагачення корисних копалин: науково-технічний збірник. – Дніпропетровськ. – 2008. – № 32(73). – С.26-32.
2. Козлов Ю.С. Очистка автомобилей при ремонте / Козлов Ю.С. – М.: Транспорт, 1981. – 151с.

Дніпродзержинський державний технічний університет

**ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
В УМОВАХ АТП**

Вступ. Більшість технологічних операцій на автотранспортних підприємствах (АТП) пов'язані з використанням і забрудненням промислової води, яка є одним із експлуатаційних матеріалів, що використовуються на АТП. Характер і кількість відпрацьованої води залежить від технології виробництва і розмірів АТП.

Кількість мийної води (мийка шасі і кузова автомобіля) визначають, виходячи з номінальної потужності встановлених насосів, типу і кількості мийних установок. Величина максимального стоку складає:

Ручна мийка, л/хв: шасі	80—120
кузова	30—80
Машинна мийка, л/хв: шасі	150—400
кузова	120—200
Мийка деталей, м ³ за спуск	1,0—1,5
Заправлення і ремонт акумуляторних батарей, м ³ /доб	0,5—1,0
Фарбування, л/м ² площі фарбувальної майстерні	5,0

За результатами досліджень [1] відпрацьована вода має характеристики, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики відпрацьованої води

Найменування забруднення	Мийка			Заправлення і ремонт акумуляторних батарей
	шасі	кузова	деталей	
Сухі речовини, мг/л	Не більше 1500 – не менше 500	600–200	1000–300	200–100
Опади (за 10 хв), мл/л	15–5	5–2	—	—
Масло, масляні похідні (ефірний екстракт), мг/л	400–100	400–50	2000–5000	
Концентрація водневих іонів	7,8–6,5	9,0–6,5	6,5–11,0	1,0–6,5
Температура, °С	—	—	40–60	—

З розвитком технології (введення нових способів виробництва, хімічних речовин і т. ін.) склад відпрацьованої води може істотно мінятися. Відправною крапкою при проектуванні очисних споруджень повинно стати попереднє визначення й оцінка передбачуваних характеристик відпрацьованої промислової води. Основними технологічними операціями, пов'язаними з забрудненням великої кількості промислової води, є мийка шасі, кузова автомобіля, його деталей, ремонт акумуляторних батарей, фарбування.

Крім перерахованих, із забрудненням промислової води можуть бути пов'язані й інші технологічні процеси (наприклад, гальванізація). У кожному випадку характер і кількість відпрацьованої води варто враховувати окремо.

Постановка задачі. Найбільша кількість відпрацьованої води виникає в процесі мийки автомобілів. З погляду очищення забруднена мийна вода містить наступні забруднюючі речовини: речовини щільністю більше 1 кг/м^3 ; неемульсійні речовини щільністю менше 1 кг/м^3 ; емульсійні речовини щільністю менше 1 кг/м^3 .

Речовинами щільністю більше 1 кг/м^3 можуть бути пісок, глина, гравій і т. ін. Однак варто також урахувувати можливість присутності таких твердих речовин, як метал, пластмаса, скло. Матеріалами щільністю до 1 кг/м^3 є масло, жири і їхні похідні. Перераховані забруднюючі речовини можуть бути видалені з води на першому етапі очищення шляхом відстоювання і флотації.

Результати роботи. Таким чином, можна рекомендувати для очищення мийної технічної води після мийки автомобілів такі способи, як: мембранні, електрокоагуляцію, реагентний і термічну дистиляцію як найбільш перспективні і такі, що розвиваються. Можливе комбінування даних способів.

Розглянемо математичний опис мембранних методів очищення забрудненої технічної води після миття автомобілів. До головних мембранних методів поділу відпрацьованої рідини відноситься обернений осмос (діаметр часток $d_c = 0,0001 \dots 0,001 \text{ мкм}$), ультрафільтрація ($d_c = 0,001 \dots 0,02 \text{ мкм}$), мікрофільтрація ($d_c = 0,02 \dots 10 \text{ мкм}$). Оскільки всі ці процеси проводять під надлишковим тиском, то їх об'єднали в одну групу безмембранних процесів.

Розкриття механізму селективної проникності мембран і створення теорії баромембранних процесів неможливо без дослідження впливу на характеристики процесу поділу таких зовнішніх чинників, як робочий тиск, температура, концентрація, електромагнітне поле, акустичні коливання, природа і склад розчинених речовин, рН середовища, гідродинамічні умови.

Повний розрахунок баромембранних процесів включає технологічний, гідравлічний і механічний розрахунки (у деяких випадках і тепловий). У ході технологічного розрахунку визначають необхідну поверхню мембрани, рідинні потоки і їхній склад. Ціль гідравлічного розрахунку – визначення гідравлічного опору апаратури, механічного – обґрунтування розмірів елементів апарата.

Розробка методів розрахунку і проектування мембранних процесів і апаратів безпосередньо пов'язані з механізмом цих процесів. Можливі такі підходи для опису механізмів мембранних процесів: на основі параметрів масопереносу й енергії гідратації, моделей ідеального витиснення і перемішування з використанням емпіричних кореляцій, дифузійної моделі і т. ін. Розглянемо розрахунки на основі математичного моделювання.

У роботі [2] наведено метод розрахунку зворотньоосмотичного апарата з порожнистими каналами малої висоти, що зводиться до вирішення задачі масопереносу у вузькому каналі зі стінками з напівпроникними мембранами для перехресного току відпрацьованої рідини і пермеата. Математична модель складена на основі рівнянь матеріального балансу і рівнянь енергетичного балансу по відпрацьованій рідині і пермеату з урахуванням концентраційної поляризації і взаємного прямування потоків рідини, що очищається:

$$\begin{aligned} \tilde{c} &= c_1(\alpha_1 - \alpha_2) + c_0\alpha_2; \\ \tilde{c}_i &= \tilde{c}_a \frac{\tilde{u}_a}{u_1} - \alpha_1 \frac{v_2 c_2 l}{Nu_1}, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{де } \alpha_1 = \int_0^{1/k} \bar{u}(\eta) d(\eta);$$

$$\alpha_2 = \int_0^{1/k} u(\eta)[1 - c(\eta)] d(\eta);$$

$$c_1 = c(y);$$

$$\eta = y/\delta;$$

c – приведена концентрація;

a та l – індекси, що відносяться до параметрів у вхідному і вихідному перетинах каналу;

\bar{u} – середня об'ємна швидкість прямування потоку відпрацьованої рідини в напірному каналі;

v_2 – поперечна складової швидкості потоку відпрацьованої рідини;

l – довжина міжмембранного каналу;

H – половина висоти напірного каналу;

δ – товщина грузлого прошарку.

Чисельне вирішення цих рівнянь зводиться до пошуку такого значення параметра K , що задовольняє обом рівнянням.

Математична модель процесів ультра- і мікрофільтрації включає рівняння матеріального балансу розчину, пермеата й одного з компонентів суміші, а також рівняння зберігання енергії вихідної суміші і пермеата. Необхідно також враховувати залежності коефіцієнтів грузькості і дифузії від температури і складу суміші $\mu(T, c)$; $D(T, c)$; свідомості про проникність і селективність мембрани в залежності від товщини прошарку S осаду: $g(S)$; $\varphi(S)$; рівняння стану вихідної суміші і пермеата $p(T, c)$. Замикають математичну модель граничні і початкові умови. Наприклад, у математичну модель мікрофільтрації у вузькому плоскому симетричному каналі входять такі рівняння у випадку прямого вихідної суміші і фільтрату:

– матеріального балансу вихідної суспензії \bar{u}_l і фільтрату $\bar{\omega}_l$:

$$\bar{u}_l = \bar{u}_a(1 - \theta), \quad (2)$$

– балансу механічної енергії вихідної суспензії P_{1l} і фільтрату P_{2l} :

$$P_{1l} = P_{1a}(1 - \theta) - P_{10}/(1 - \theta) - \Delta p_{1g}; \quad (3)$$

$$P_{2l} = P_{1a}(1 - \psi) + P_{2\psi} - \Delta p_{2g}, \quad (4)$$

де $\theta = \rho_0 v_0 l [\rho_1 \bar{u}_a (H - S)]$;

$$\psi = v_2 l / (\bar{\omega}_l h);$$

Δp_{1g} та Δp_{2g} – втрати тиску на тертя;

ρ – щільність відпрацьованої рідини.

Швидкість фільтрату v_2 і його концентрація c_2 визначаються за такими залежностями:

$$\begin{aligned} v_2 &= \rho(S)(p_1 - p_2); \\ c_2 &= c_1[1 - \varphi(S)]. \end{aligned} \quad (5)$$

Щоб замкнути математичну модель, необхідно розробити математичну залежність для розрахунку поверхневого натягу σ відпрацьованої рідини.

Запишемо рівняння матеріальних балансів для мембранного прошарку з урахуванням його плинності уздовж мембрани:

– матеріальний баланс суспензії:

$$v_0 \rho_1 l + \bar{\omega}_a \rho_s \rho_a = v_2 \rho_2 l + \bar{\omega}_l \rho_s S_l + \sigma \rho_s l, \quad (6)$$

– матеріальний баланс дисперсної фази при концентрації дисперсної фази в прошарку – c_s :

$$v_0 c_1 l + \bar{\omega}_a c_s S_a = v_2 c_2 l + \bar{\omega}_l c_s S_l + \sigma c_s l, \quad (7)$$

де ρ_s – щільність прошарку;

$\bar{\omega}$ – середня по перетину осаду швидкість руху прошарку.

Вхідні параметри для рішення математичної моделі мікрофільтрації:

$$u_n, p_{1s}, c_n, p_{2s}, H, h, L, g(S); \varphi(S), \mu, \mu_s, \rho_{ж}, \rho_T, c_s, \varepsilon_T.$$

З рівнянь математичної моделі можна визначити також профіль швидкості відпрацьованої рідини над прошарком осаду:

$$u = \omega_1 + u_1 A \exp(-a\eta) \sin(b\eta),$$

де $\eta = (y / H - S)$ – безрозмірна ордината з початку на поверхні прошарку осаду ($\eta = 0 \dots 1$).

Для розрахунків процесу ультрафільтрації у вузькому симетричному каналі розв'язується система рівнянь (6) і (7), яка доповнюється рівняннями матеріального балансу з урахуванням дифузійного потоку відпрацьованої рідини \bar{j} . При цьому невідомими перемінними будуть \bar{j} , v_0 і σ .

Висновки. Для розкриття механізму селективної проникності мембран і створення теорії баромембранних процесів необхідне дослідження впливу на характеристики процесу поділу таких зовнішніх чинників, як робочий тиск, температура, концентрація, електромагнітне поле, акустичні коливання, природа і склад розчинених речовин, рН середовища, гідродинамічні умови.

Для опису механізмів мембранних процесів можуть бути задіяні підходи на основі параметрів масопереносу й енергії гідратації, моделей ідеального витиснення і перемішування з використанням емпіричних кореляцій і дифузійної моделі.

Дані моделі можна використовувати при проектуванні технологічного устаткування для очищення технічної води, яка використовується для миття автомобілів, на мембранах типів МФА, МА-1, УАМ-500.

ЛІТЕРАТУРА

1. Карой Х. Станции обслуживания легковых автомобилей / Карой Х. – М.: Транспорт, 1978. – 303с.
2. Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей / Дытнерский Ю.И. – М.: Химия, 1997. – 232с.

УДК 658.512

МОЛОЧНИЙ А.А., студент
КОРЖАВІН Ю.А., к.т.н., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ РЕМОНТУ І ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ

Вступ. У зв'язку з великою кількістю систем автоматизованого проектування технологічних процесів (САПР ТП), пропонованих ринком в даний час, все ж великої актуальності набувають питання, пов'язані з оптимальним вибором конкретних програм. Більшість систем надають значну допомогу в створенні технологічного процесу, авто-

матизують рутинні процеси технологічної підготовки ремонтного виробництва.

Постановка задачі при виконанні цієї роботи полягає в огляді і аналізі інтелектуальних можливостей застосування сучасних САПР ТП для створення ТП ремонту та обслуговування автомобілів і відновлення автомобільних деталей.

В даний час помітно зріс інтерес підприємств до САПР ТП. Українські підприємства зіткнулися з проблемою вибору відповідного засобу для своєї інфраструктури. Очевидно, що з систем, що є на ринку, доцільно вибрати ту, яка найефективніше зможе вирішувати завдання підприємства як зараз, так і в перспективі.

До САПР ТП для ремонту і обслуговування автомобілів пред'являються специфічні умови, а саме: можливість використання операцій миття, розбирання, дефектування та їх нормування.

Результати роботи. Для проведення аналізу були обрані постачальники й програмні продукти, представлені в табл.1.

Таблиця 1 – Постачальники та програмні продукти

Постачальник програмних засобів	Категорія постачальника	Програмні засоби, що поставляються
1	2	3
Група компаній АДЕМ www.adem.ru	Розробник комплексних рішень	Інтегрована система, що включає: конструкторський САПР – ADEM CAD (2D-3D), технологічний САПР ТП – ADEM CAPP, програмування ЧПУ – ADEM CAM (2x-5x), архів – ADEM Vault, систему адаптації до устаткування – ADEM GPP, систему реновації паперових документів і верстатних програм, систему контролю геометрії й експрес технологічного аналізу, конструкторські й технологічні бази даних
АСКОН www.ascon.ru	Розробник комплексних рішень	КОМПАС Графік, КОМПАС-2D, КОМПАС-3D, САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ, ЛОЦМАН PLM
ИНТЕРМЕХ (Білорусь) www.intermech.ru	Розробник комплексних рішень і технологічних САПР	Конструкторський модуль Cadmech, технологічна САПР Techcard, система технічного документообігу Search, модуль керування проектами Improject, база даних стандартних елементів і матеріалів Imbase
Топ Системи www.topsystems.ru www.tflex.ru	Розробник комплексних рішень	T-FLEX CAD 2D, T-FLEX CAD 3D, T-FLEX ЧПУ, T-FLEX Аналіз, T-FLEX Технологія
Solidworks Russia www.solidworks.ru	Розробник конструкторських САПР і комплексних рішень	Комплекс CAD/CAM/CAE/PDM Solidworks, Solidworks Professional і Solidworks Premium, CAM Works, PDMSWR
ТОВ «Делкам-Москва» www.delcam.com	Розробник технологічних САПР	Технологічна САПР Powermill Pro 5 Axis
PTS (США), ТОВ «ПТС» www.pts-russia.com	Розробник і дилер комплексних рішень	Інтегрована CAD/CAM система Pro/Engineer

Продовження таблиці 1

1	2	3
<p>ТОВ «ГЕТНЕТ Консалтинг», www.hetnet.ru www.wcatia.ru www.wcatiaam.ru www.wcatiaam</p>	<p>Постачальник комплексних PLM-рішень</p>	<p>Повністю інтегровані між собою CAD/CAM/CAE/PDM системи: CATIA V5, ENOVIA, DELMIA, NATTA. Спеціалізовані рішення для електрики, інженерних розрахунків, конструкторського й технологічного проектування. Системна інтеграція</p>

Позитивні особливості та недоліки розглянутих САПР ТП представлені в табл.2.

Таблиця 2 – Позитивні особливості й недоліки САПР ТП

Програмний продукт	Позитивні сторони	Недоліки	Впроваджені
1	2	3	4
ADEM	Створює єдиний конструкторсько-технологічний простір на одній інформаційній основі, має гарний модуль ЧПУ	Обмежена функціональність CAD системи	ЗАТ «ЗЭМ «РКК «Енергия», ВАТ «Ижевский Мотозавод», ФГУП НПСЦ "Полюс», ВАТ «Ижевский радиозавод», ВАТ "Моторобудівник, «ВАТ КБХА», Вмз-Філія ФГУП ГКН ПЦ ім. М.В.Хруничева, ФГУП «НПО ім. Лавочкина» та ін.
КОМПАС-3D, САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ, ЛОЦМАН PLM	Гарна CAD система	Немає модуля ЧПУ	ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ Прогрес», ВАТ «Моторобудівник», ВАТ «ПЗ Машинобудівник», підприємства приладобудування
Cadmech, Techcard, система техн. документообігу Search	Створює єдиний конструкторсько-технологічний простір	Немає єдиної інформаційної основи. Немає модуля ЧПУ	РКЗ ГКНПСЦ ім. М.В.Хруничева, ФГУП «НПО Автоматики»
T-FLEX CAD 2D, T-FLEX CAD 3D, T-FLEX ЧПУ, T-FLEX Аналіз, T-FLEX Технолог	Гарні CAD система й САПР техпроцесів	Слабкий модуль ЧПУ, недостатній рівень після продажною підтримки	ВАТ «КБХА», ВАТ «Енергомаш», ФГУП «НИИ-Маш» і ін.
Solidworks, Solidworks Professnal і Solidworks Premium, CAM Works, PDMSWR	Гарна CAD система середнього рівня для КБ	Модуль CAM Works новий, ще недостатньо відпрацьований, у галузі практично не застосовується	ФГУП «НПО ім. Лавочкина», ВАТ «ИСС», ВАТ «КБХА», ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогрес», ФГУП «ВНИИЭМ»
Powermill Pro 5 Axis	Гарна CAM система для фрезерування	Низький рівень інтеграції, дуже дорога (близько 800 тис. руб.)	ВАТ «ПЗ Машинобудівник»

Продовження таблиці 2

1	2	3	4
CAD/CAM система Pro/Engineer	Створює єдиний конструкторсько-технологічний простір обробки, гарна CAD/CAM система	Немає модуля проектування техпроцесів, дуже складна в навчанні, є проблеми з підтримкою	ВАТ «НПО Машинобудування», ФГУП «ГНПРКЦ «Цскб-Прогрес», ВАТ «Енергомаш», ВАТ «РКК «Енергія», ФГУП «КБТМ»
CATIA V5, ENOVIA, DELMIA, NATTA	Створює єдиний конструкторсько-технологічний простір, гарна CAD/CAM система з великою функціональністю	Немає модуля проектування техпроцесів, складна в навчанні, дорога підтримка (15% щорічно), надлишкова по функціях для заводів	ФГУП «Красмаш», ВАТ «ИСС», ФГУП ГКНПЦ ім. М.В.Хруничева

В результаті проведеного аналізу було виявлено, що більшість САПР технологічної підготовки виробництва через свою специфіку не є програмними продуктами. Для нормальної роботи з подібними системами необхідно провести цілий комплекс налагоджувальних заходів відповідно до вимог певного виробництва. В основному це пов'язано з використанням різного устаткування, технологічного оснащення, методів обробки, різноманітних методик призначення режимів обробки, а також з іншою специфікою виробництв.

Відомі САПР ТП об'єднує одна властивість – у край низький рівень їх інтелектуального розвитку. Вони не здатні самостійно ухвалити жодного технічного рішення і в руках інженера, що ухвалює всі рішення, є не більш, ніж вдосконаленим довідником. Таким чином, все багатство інженерних знань залишається в книгах і, у міру здібностей і досвіду, в людських головах. Але люди приходять і йдуть, відносячи з фірм їх безцінні скарби – інженерний досвід. Кваліфікація сучасних конструкторсько-технологічних САПР ТП – це рівень техніка-кресляра, а повинна вона відповідати рівню провідного технолога.

Аналізуючи інтелектуальні можливості, реалізовані в системах ВЕРТИКАЛЬ, ADEM, SPRUTTP, T-FLEX ТЕХНОЛОГІЯ, TECHCARD, APM Technology Data, Pro/ENGINEER, ТП SmarTech, ADEM, NATTA, Компас-автопроект, можна зробити висновок, що під накопиченням технологічного досвіду мається на увазі використання типових і групових технологічних процесів, уявлення в електронному вигляді інформації, що міститься в стандартах, технологічних довідниках, класифікаторах, нормативній документації, тощо. Під навчанням в цих системах розуміється можливість внесення інформації про новий технологічний процес для подальшого використання і редагування, а також редагування розрахункових формул і записів даних. А процес ухвалення технологічних рішень полягає у виборі за технологією «дивись і вибирай» з наявних даних операцій технологічного процесу.

Лише у деяких системах, таких як СПРУТ ТП і ВЕРТИКАЛЬ, використовується апарат інженерії знань. Моделювання і маніпулювання знаннями засновані в цих системах на класичних моделях представлення знань – продукційних, семантичних мережах.

Системи, що отримали найбільше застосування на підприємствах, наведені в табл.3.

Таблиця 3 – Сучасні САПР технологічних процесів

САПР ТП		Інтеграція з	
Назва	Фірма-виробник продукту	PDM-системою	CAD-системою
Вертикаль	АСКОН	Лоцман-plm	Компас 3D
T-Flex	Топ системи	T-Flex DOCs	T-Flex CAD
TechCard	Інтермех	-	AUTOCAD
TechnologiCS	WinMachine	-	Армgraph
МАС Птп	Bee-Pitron	SmarTeam	CATIA, Pro/E SolidWork

Існують три основні методи автоматизованого проектування технологічних процесів: індивідуальне проектування; проектування на основі групового технологічного процесу; проектування технологічного процесу методом синтезу.

Метод синтезу технологічного процесу по теперішній час знаходить обмежене застосування, оскільки не реалізований строгий математичний опис формування структури технологічного процесу на основі геометрії деталі і технологічних атрибутів.

Більшість програм, які широко використовуються для розробки технологічних процесів, на практиці застосовуються в діалоговому режимі з деякою мірою автоматизації окремих кроків. Типові прийоми роботи інженера-технолога виглядають у такому разі приблизно так: з наявних в програмі довідників послідовно вибираються технологічна операція, устаткування, технологічні переходи (текст яких при необхідності редагується), інструмент. При цьому залежно від того, наскільки повно і ретельно настроєна база даних відповідної програми, ці кроки можуть бути до деякої міри автоматизовані. За наявності вже розробленого в програмі техпроцесу-аналога технолог просто копіює його в технологію (цілком або вибравши необхідний фрагмент), що розробляється, після чого корегує.

Коли опис техпроцесу сформований на екрані, комплект документації необхідного вигляду роздруковується. Таким або схожим способом працюють більшість технологів практично незалежно від того, яку програму вони при цьому використовують.

Цей спосіб істотно прискорює розробку технологічної документації порівняно із звичайним ручним способом і в той же час не вимагає особливо трудомісткого налаштування програмного забезпечення. Метод автоматичної генерації техпроцесів, що добре зарекомендував себе, на підставі ТП комплексної деталі, по-перше, годиться тільки для однотипних і не дуже складних деталей, а по-друге, вимагає серйозної підготовки. Як мінімум, необхідно придумати саму комплексну деталь і її елементи, розробити груповий техпроцес. Питання ж повністю автоматичної генерації технології виготовлення на будь-яку деталь поки залишається відкритим і на сьогоднішній день практичного рішення не має.

Прикладами програм для проектування технологічних процесів в країнах СНД є САПР ТП «Вертикаль», «Т-flex Технологія» і «Технопро». Дані системи є найбільшими САПР ТП і в цілому відображають ступінь автоматизації розробки технологічних процесів.

Порядок роботи користувача в САПР ТП «Вертикаль» орієнтований на звичний для технола процес формування «паперової» технологічної документації. Швидкий доступ до всіх довідкових даних в багато разів скорочує час пошуку інформації, необхідної для ухвалення технологічних рішень. У системі «Вертикаль» реалізовані різні методи проектування: на основі техпроцесу-аналога; з використанням бібліотеки часто повторюваних технологічних рішень; типових і групових технологічних процесів; проектування з використанням бібліотеки конструкторсько-технологічних елементів; запозичення технологічних рішень з раніше розроблених технологій; діалоговий режим проектування з використанням баз даних системи.

«T-flex Технологія» – повнофункціональна програма для автоматизації технологічної підготовки виробництва, що володіє гнучкими сучасними засобами розробки технологічних проектів будь-якої складності. Ця САПР ТП дозволяє отримувати по спроектованих моделях і кресленнях всю необхідну технологічну документацію. Система «T-flex Технологія» підтримує різні методи проектування: діалогове проектування з використанням баз технологічних даних; проектування на основі техпроцесу-аналога; запозичення технологічних рішень з раніше розроблених технологій; проектування з використанням бібліотеки технологічних рішень; проектування групових і типових технологічних процесів; із загального технологічного процесу; автоматичне проектування з використанням бібліотеки технологічних рішень. «T-flex Технологія» є додатком до PDM-системи «T-flex DOCS». Завдяки цьому в технологічному модулі використовується необхідна технологам частина функціональності PDM. В результаті створюється єдиний інформаційно-довідковий простір для технологів і конструкторів. Наприклад, за допомогою засобів «T-Flex DOCS» забезпечується робота із загальними для конструкторів і технологів довідковими даними. Склад виробу, а також всі технології, що розробляються, зберігаються в загальній базі даних на сервері, що при відповідному розмежуванні доступу до інформації дозволяє організувати колективну роботу над проектами.

Система «Технопро» призначена для проектування операційної технології, включаючи операції: заготовчі, механічної і термічної обробки, нанесення покриттів, слюсарні, технічного контролю, збірки і ін. У «Технопро» разом з оригінальним методом проектування по "загальних технологічних процесах" реалізовані і традиційні методи: по типовому, груповому, технологічному процесу-аналогу. Технолог сам вибирає метод проектування, найбільш відповідний в конкретному випадку, а також спосіб його використання: автоматичний, напівавтоматичний, діалоговий або їх поєднання.

В результаті аналізу виявлені наступні недоліки САПР ТП:

- реалізація індивідуального методу проектування і методу проектування на основі групового технологічного процесу накладає обмеження – неможливість автоматичного формування технологічного процесу або його частини на основі геометрії деталі, що отримується із 3D-моделі;
- відсутність автоматичного введення початкових даних про виріб (дані інтерпретуються технологом, хоча є всі передумови для передачі цієї функції САПР ТП);
- автоматичне формування технологічних ескізів відсутнє.

Аналіз показує, що на даний момент можливості автоматизації ТПВ практично вичерпані. Процес проектування технологічного процесу залишається практично ручною роботою, що збільшує ТПВ в життєвому циклі виробу. Виникає гостра необхідність в розробці САПР ТП, що функціонує на основі методу синтезу технологічного процесу.

З урахуванням усіх наведених вище даних складемо табл.4 залежності параметрів систем, які порівнюються.

Таблиця 4 – Характеристики САПР ТП

Найменування характеристики	Вертикаль	T-FLEX	Технопро
1	2	3	4
Режим взаємодії з користувачем	Автоматичний	Автоматичний	Автоматичний
Наявність проектування технологічних процесів	Так	Так	Так

Продовження таблиці 4

1	2	3	4
---	---	---	---

Середній час проектування ТП, хв.: - взагалі в діалозі, без розрахунків; - за допомогою автоматизації та розрахунків	280 190	320 260	305 270
Наявність параметризації проектування	Так	Так	Ні
Наявність редагування закладених в системі розрахунків	Так	Так	Так
Наявність автоматичного розрахунку параметрів	Так	Так	Так
Наявність редагування закладених бланків карт	Так	Ні	Так
Види формування карт	Маршрутна, операційна, карта ескізів	Маршрутна, операційна, карта ескізів	Маршрутна, операційна
Вставка графічних ескізів в карти ТП	Так	Так	Ні
Підтримані методи інтеграції з конструкторськими САПР	Зчитування автоматично загальних відомостей та відомостей про конструкції	Зчитування автоматично тільки загальних відомостей	Зчитування автоматично тільки загальних відомостей
Особливості адаптації ПЗ до умов підприємства (замовника)	Необхідно додаткове програмне забезпечення	Необхідно додаткове програмне забезпечення	Необхідно налагодження карт та розрахунки
Підтримка ДЕСТ та Технічних регламентів	Так	Так	Так
Реалізація систем на основі єдиної бази даних	Так	Так	Так
Наявність варіантів поставки системи	Так	Так	Так
Час інсталяції ПЗ, хв.	25	20	22
Мультимедійні засоби навчання	Детальні	За деякими аспектами праці	За деякими аспектами праці
Безкоштовна пробна версія	Так	Так	Так
Безкоштовний вступний курс навчання	Ні	Так	Так
Безкоштовні БД технологій та алгоритмів розрахунків	Ні	Ні	Так
Вартість, у.о.: - 1 клієнтського робочого місця; - усього пакету	700 17000	10000 20000	20000 25000
Необхідність покупки допоміжних засобів конструювання та розрахунків	Ні	Ні	Ні
Наявність технічної підтримки користувачів	Так	Так	Ні

Висновки. Порівнявши можливості даних САПР ТП щодо забезпечення створення ТП відновлення деталей автомобіля, створення конструкторської документації,

експрес-аналізу деталей та їх вартості, доходимо висновку, що оптимальною системою на даний час є система «Вертикаль».

ЛІТЕРАТУРА

1. Интеллектуальные САПР технологических процессов в радиоэлектронике / [А.С.Алиев, Л.С.Восков, В.Н.Ильин и др.]; под ред. В.Н.Ильина. – М.: Радио и связь, 1991. – 264с.
2. <http://www.legos.ru/http://> АСКОН.

УДК 629.331.017

КАС'ЯН В.С., ст. викладач
АВЕР'ЯНОВ В.С., асистент

Дніпродзержинський державний технічний університет

ТЕОРІЯ НАДІЙНОСТІ В АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

Вступ. Теорія надійності дозволяє встановити ряд показників, що характеризують стан автомобіля в певному інтервалі часу: імовірність безвідмовного стану, ресурс наробітку на відмову, термін служби, параметр потоку відмов.

Теорія надійності встановлює тільки кількісні величини, які характеризують напруження на відмову, тому її показники не можна вважати вичерпними. А в сполученні з фізикою процесів, які протікають в автомобілі і його деталях, можна мати порівняно повну інформацію про автомобіль.

Постановка задачі. При експлуатації та ремонті автомобілів виникає питання про їх надійність (термін служби, безвідмовна робота, пробіг до відмови). Тому необхідно встановити, які чинники впливають на надійність автомобіля, та запропонувати методи усунення відмов.

Результати роботи. Автомобіль може перебувати в одному із двох станів: у безвідмовному стані та у стані відмови. Як стан відмови, так і стан безвідмовної роботи є випадковими подіями і характеризуються ймовірностями цих подій, тобто

$$P(t) + Q(t) = 1, \quad (1)$$

де $P(t)$ – імовірність безвідмовного стану автомобіля;

$Q(t)$ – імовірність стану відмови.

Чим вище значення $P(t)$ і відповідно менша величина $Q(t)$, тим вища надійність автомобіля.

Надійність автомобіля на певному відрізку часу визначається в остаточному підсумку кількістю відмов, розподілом цієї кількості, значимістю відмов, тобто трудомісткістю та вартістю їх усунення.

В автомобілі виникають різні відмови, всі вони є наслідком руйнівних процесів. Через велику різноманітність відмов їх доцільно класифікувати за певними ознаками:

1. За характером зміни параметрів відмови можуть бути двох видів: раптові, які виникають в результаті миттєвої зміни одного з основних параметрів виробу, поступові, що виникають в результаті поступової зміни значення одного або декількох основних параметрів виробу.

2. В залежності від зв'язку з іншими відмовами, розрізняють незалежні відмови, що виникають за будь-яких причин, крім дії інших відмов, і залежні, яка виникає в результаті впливу інших відмов.

3. За можливістю використання виробу після виникнення відмови розрізняють повну, при якій неможливо його використовувати за призначенням, і часткову, при якій виріб можна хоча б частково використовувати.

4. За характером усунення відмов розрізняють стійку відмову, що усувається лише в результаті мір, прийнятих для відновлення працездатності виробу, і відмову, що самоусувається, тривалість якої мала в порівнянні з тривалістю роботи до наступної відмови.

5. За причинами виникнення відмови діляться на три види: конструкційні, що виникають у результаті помилки конструктора; технологічні, які виникають в результаті порушень прийнятої технології; експлуатаційні, що виникають в результаті порушень правил експлуатації.

6. Залежно від часу виникнення розрізняють чотири види відмов: при випробуваннях, у період адаптації, у період нормальної експлуатації та в останній період експлуатації.

7. За місцем розташування відмов варто розрізняти відмови, що виникають у деталі, і відмови, що виникають у автомобілі.

Для теорії ремонту найбільш істотним є розподіл відмов на раптові й поступові (ті, що накопичуються), незалежні й залежні, а також на відмови за місцем локалізації.

Деталі або елементи включаються в автомобіль послідовно й паралельно.

Імовірність безвідмовного стану системи, що складається з послідовно включених елементів, визначається виразом

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (2)$$

де $P_i(t)$ – імовірність безвідмовного стану i -го елемента.

Імовірність безвідмовного стану системи, що складається з паралельно включених елементів, має вигляд:

$$P(t) = 1 - [1 - P_1'(t)][1 - P_2'(t)]. \quad (3)$$

Фактично в автомобілі є обидва види включень, його варто розглядати як змішану систему.

Так як відмова автомобіля настає тоді, коли виникає відмова якого-небудь елемента, включеного послідовно (система трансмісії, системи двигуна і т.ін.), то для наших цілей найбільш істотним є визначення стану відмов:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t). \quad (4)$$

З огляду на те, що $P_i(t) = 1 - q_i(t)$, де q_i – стан відмов i -го елемента, можна записати:

$$P(t) = [1 - q_1(t)][1 - q_2(t)] \dots [1 - q_n(t)]. \quad (5)$$

Для спрощення можна зробити припущення, що для певного моменту часу t_i імовірність відмови для кожної деталі однакова, тобто

$$q_1(t) = q_2(t) = \dots q_n(t). \quad (6)$$

Таке положення близьке до дійсності.

У цьому випадку

$$Q(t) = 1 - [1 - q_i(t)]^n. \quad (7)$$

Імовірність відмови автомобіля залежить від потоку відмов кожної деталі або елемента деталі.

Параметр потоку відмов може бути встановлений для кожної складальної одиниці, агрегату або автомобіля в цілому. У цьому випадку параметр потоку відмов автомобіля в цілому визначається виразом

$$\omega_N(t) = \sum_{i=1}^N \omega_i(t), \quad (8)$$

де N – число пристроїв у виробі;

ω_i – параметр потоку відмов i -го пристрою.

Між імовірністю безвідмовної роботи $P(t)$ і параметром потоку відмов $\omega(t)$ встановлено залежність

$$P(t) = \exp\left[-\int_0^t \omega(t) dt\right]. \quad (9)$$

Ця залежність справедлива для будь-якого закону розподілу надійності як випадкової величини.

Величина, зворотна параметру потоку відмов, для виробів, які відновлюються, являє собою середній час безвідмовної роботи автомобіля між двома її відмовами або середнім напрацюванням на відмову $t'_{cp} = \frac{1}{\omega}$; чим вище параметр потоку відмов ω і менший середній час t_{cp} безвідмовної роботи, тим менша ймовірність того, що автомобіль відпрацює заданий відрізок часу без єдиної відмови, тобто тим менша його надійність. Для автомобілів параметр потоку відмов не постійна величина, вона є випадковою функцією часу чи пробігу. У початковий період експлуатації відмови носять раптовий характер, а потім зі збільшенням часу (або пробігу) вони здобувають характер накопичувальних відмов.

В організації ремонту автомобілів та при експлуатації можливі три стратегії усунення відмов. У першому випадку відмови усувають негайно після їх виникнення, у другому випадку проводять примусову заміну деталей до виникнення відмови, у третьому – частина деталей піддається заміні до виникнення відмови, а інша частина деталей – після виникнення відмови.

Для того, щоб вибрати одну з перерахованих стратегій, потрібно визначити, яка з них буде давати мінімальні витрати та забезпечить мінімум витрат від простоїв автомобілів внаслідок невиконання ними транспортної роботи.

Для цього припускаємо, що вартість деталі, яку замінюють, становить C_1 , витрати на її заміну – C_2 , витрати від невиконання транспортної роботи при усуненні відмови – C_3 , термін служби деталі до відмови – t_1 , запланований відрізок часу – T , кількість відмов протягом часу T – n .

В цьому випадку сума всіх витрат за період T для стратегії першого типу

$$R_1 = \sum_{i=1}^{n_1} C_1 + \sum_{i=1}^{n_1} C_2 + n_1 C_3. \quad (10)$$

При цьому сумарні витрати в період T будуть залежати в основному від кількості відмов n_1 (відмови, які усуваються після їх виникнення).

При здійсненні стратегії другого типу сумарні витрати за період T визначаються виразом

$$R_2 = \sum_{i=1}^{n_2} C_1 + \sum_{i=1}^{n_2} C_2 + \sum_{i=1}^{n_2} (t_1 - t_2) \frac{C_1}{t_1} + n_2 C_3, \quad (11)$$

де t_2 – фактичний термін служби деталі на момент заміни.

Таким чином, $(t_1 - t_2) \frac{C_1}{t_1}$ – це вартість невикористаного ресурсу деталі. Очевидно, що при цій стратегії загальні витрати R_2 залежать від n_2 (простої, викликані примусовою заміною деталей), у той же час $n_2 < n$, що дозволяє компенсувати збиток від дострокової заміни деталей $\frac{C_1}{t_1}$.

При цьому варто враховувати, що питома вартість – величина не постійна протягом терміну служби t_1 . Зі збільшенням віку деталі її питома вартість прогресивно знижується.

Дострокова заміна дорогих деталей навіть при прогресивному зниженні її питомої вартості не завжди може бути виправдана.

При третій стратегії загальна кількість простоїв n складається із двох доданків: простоїв n_1 через відмови, що наступили, і простоїв n_2 , викликаних примусовою заміною деталей, тобто

$$n = n_1 + n_2. \quad (12)$$

Отже, сумарні витрати за період T передбачаються такими:

$$R_3 = \sum_{i=1}^n C_1 + \sum_{i=1}^n C_2 + nC_3 + \sum_{i=1}^{n_2} (t_1 - t_2) \frac{C_1}{t_1}, \quad (13)$$

де C'_1 – вартість деталей, що замінюють примусово до виникнення відмови, грн.

$$C'_1 + C''_1 = C_1, \quad (14)$$

де C''_1 – вартість деталей, що замінюють після виникнення відмови, грн.

Практично найчастіше застосовується третя стратегія, тому що неможливо всі відмови попередити примусовими замінами. Головним завданням організації ремонту в процесі експлуатації полягає в мінімізації значення R_3 у перебігу часу T , тобто в розробці таких принципів, які дозволили б зберегти автомобіль у заданих межах надійності з мінімумом витрат.

Висновки. Проведено аналіз відмов, які впливають на надійність автомобіля під час його експлуатації, та наведено їх характеристику. Запропоновано стратегії для усунення відмов, що виникають на автомобілі, які дають змогу зменшити витрати при ремонті автомобілів та збільшити їх надійність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Малышев Г.А. Теория авторемонтного производства / Малышев Г.А. – М.: Транспорт, 1997. – 224с.
2. Дехтяринский Л.В. Ремонт автомобилей: учебник [для вузов] / Л.В.Дехтяринский, К.Х.Акмаев. – М.: Транспорт, 2002. – 295с.
3. Дюмин И.К. Ремонт автомобилей / Дюмин И.К. – М., Транспорт, 1995. – 280с.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЗВАРЮВАННЯ ПРИ РЕМОНТІ АВТОМОБІЛІВ

Вступ. Зварювання – технологічний процес отримання нероз’ємного з’єднання металевих виробів при їх місцевому нагріванні до розплавлення або пластичного стану із застосуванням механічного зусилля чи без нього. Наплавлення – різновид зварювання, коли присадний матеріал у вигляді шару заданої товщини наноситься на поверхню деталі.

Зварювання й наплавлення – один з найбільш поширених способів відновлення спрацьованих деталей, усунення тріщин, пробоїн та інших дефектів, а також нанесення стійких до протиспрацювання покриттів з необхідними фізико-механічними властивостями. Міцність зчеплення при зварюванні і напавленні забезпечується створенням спільної (ковалентної) електронної системи атомів розплавленого металу деталі і присадного матеріалу; при цьому отримується інтерметалічне з’єднання між деталлю і швом (валиком), який формується, при затвердінні металу.

Існує два принципово різних технологічних прийоми зварювання: розплавлення металу і пластичне деформування деталей у місці їх з’єднання. У першому випадку з’єднання отримують розплавленням присадного матеріалу і частковим оплавленням деталі, внаслідок чого створюється спільна зварювальна ванночка. У другому випадку до деталей, що з’єднуються, прикладають зовнішнє зусилля, яке викликає інтенсивні механофізичні процеси в зоні контакту: руйнування оксидних плівок, змінання мікронерівностей, зближення тертьових поверхонь на відстань, при якій створюється спільна електронна система і виникає місце з’єднання.

Види зварювання з розплавленням металу:

- електродугове, коли нагрівання і розплавлення металу відбуваються за рахунок енергії, яка виділяється при горінні електричної дуги;
- електронно-променево, коли нагрівання й розплавлення металу відбуваються за рахунок енергії, що виділяється при інтенсивному бомбардуванні основного металу деталі електронами, які надзвичайно швидко рухаються у вакуумі;
- газове, коли метал розплавляється теплою, що виділяється при горінні суміші газів;
- ливарне, коли рідкий метал, який отримано в тиглі або печі, заливають між формованими деталями; з’єднання відбувається за рахунок часткового розплавлення (оплавлення) деталей від температури рідкого металу й створення спільної ванночки між двома виробами і розплавленим металом.

Постановка задачі. При застосуванні методу зварювання необхідно дотримуватися заданих режимів, тому постає питання вибору виду зварювання, типу електродів та зварювального обладнання при ремонті автомобілів.

Результати роботи. У ремонтному виробництві найпоширеніші електродугове й газове зварювання. Електродугове зварювання й наплавлення виконують на постійному та змінному струмі. На змінному струмі виконують зварювання виробів, оскільки при цьому застосовуються більш просте й дешеве обладнання, а також вища продуктивність процесу. Наплавляють деталі, як правило, на постійному струмі; при цьому шов (напавлений метал) виходить щільним, з більш рівномірною структурою.

Коли використовують постійний струм, зварювання і наплавлення поділяють на два види: на прямій полярності (деталь – "плюс", електрод – "мінус"); на зворотній полярності (деталь – "мінус", електрод – "плюс"). Оскільки на аноді виділяється значно більше теплоти, ніж на катоді, то зварювання (наплавлення) на зворотній полярності доцільно застосовувати тоді, коли неприпустиме перегрівання деталі (наприклад, при зварюванні тонкостінних виробів із листової сталі та ін.).

Електрична дуга – це потужний розряд електричного струму в газовому середовищі. Відомо, що в звичайних умовах газу (у тому числі й повітря) є електронейтраль-

ними, тобто не проводять електричного струму. Тому в міжелектродному просторі "анод-катод" (або "деталь-електрод") необхідно створити носії електричного струму – іони й електрони. Їх виникнення – результат термоелектронної емісії (випромінювання з сильно розігрітої поверхні електрода електронів та іонізації газу в проміжку між деталлю й електродом).

Електрод приводять у миттєвий дотик (0,1...0,2 с) з деталлю, виникає коротке замикання з виділенням великої кількості теплової енергії. Потім електрод відводять від деталі на критичну відстань, на якій інтенсивно йде термоелектронний процес (іонізація) і починає горіти електрична дуга. Тепло, що виділяється при горінні електричної дуги, розплавляє кінчик електрода, на його торці створюються краплі розплавленого металу. У момент, коли маса краплі стає більшою, ніж сила поверхневого натягу, яка утримує краплю на електроді, крапля відривається й стікає на поверхню деталі. Оскільки перед відривом від електрода крапля витягується, то місток розплавленого металу замикає електрод на деталь (0,1...0,2 с), і таким чином знову виникає коротке замикання, внаслідок чого струм значно збільшується, інтенсифікується виділення теплової енергії, сильніше горить дуга, й на кінці електрода знову створюється крапля розплавленого металу. Цей процес повторюється спочатку.

Розплавлення, перенесення металу на деталь та формування шва залежать від режимів процесу, фізико-хімічних властивостей електрода й інших умов.

У процесі зварювання спостерігаються нерівномірне нагрівання й охолодження шва і навколишньої зони, що призводить до появи в ньому залишкових напружень розтягування й тріщин. Вони зароджуються як в інтервалі температур кристалізації металу (1200...1500°C) – "гарячі" тріщини, так і в інтервалі температур 360...400°C – "холодні" тріщини.

Виникнення "гарячих" тріщин пов'язане з дією розтягуючих напружень, які викликають пружно-пластичну деформацію зерен, що зароджуються при затвердінні металу. Для зменшення цих напружень деталь перед зварюванням попередньо нагрівають до температури 400...600°C. Це зменшує різницю (баланс) температур шва й деталі, а також виникнення розтягуючих напружень. Температура залежить від хімічного складу матеріалу деталі, електрода та інших умов.

"Холодні" тріщини виникають в основному в середньо- і високовуглецевих сталях на межі сплавлення шва з основним металом деталі. У цих місцях створюються зерна мартенситу, і об'єм металу збільшується, викликаючи стискуючі напруження, а усадка шва при затвердінні викликає розтягуюче напруження. Перепад напружень і є причиною виникнення "холодних" тріщин. Для їх усунення застосовують попереднє нагрівання деталі і повільне охолодження після наплавлення (зварювання).

Вибираючи електроди для зварювання, враховують матеріал деталі, її розміри (наприклад, товщину) та інші умови.

Електроди для ручного електродугового зварювання – це металеві стержні, "голі" або покриті спеціальною обмазкою. Застосовують електроди з тонкою (стабілізуючою) і товстою (якісною) обмазкою. Стабілізуюча обмазка (80% крейди і 20% рідкого скла) сприяє стабільному горінню електричної дуги. Якісне покриття служить для захисту розплавленого металу від окислення, легування наплавленого шару, стабілізації горіння дуги та іншого й включає такі компоненти:

- газоутворюючі (крохмаль, борошно, декстрин та ін.), які захищають розплавлений метал від контакту з повітрям;
- шлакоутворюючі (польовий шпат, мармур, каолін та ін.), які підсилюють захист розплавленого металу від взаємодії з повітрям;
- легуючо-розкислюючі (феромарганець, ферохром, феросиліцій та ін.), які служать для розкислення (переводять кисень у зв'язаний стан MnO, SiO₂ тощо) і легують наплавлений шар металу;
- стабілізуючі (сода, двоокис титану та ін.);
- зв'язуючі (рідке скло).

При ремонті автомобілів використовують такі типи покриття електродів: фтористо-кальцієві (Ф), руднокислі (Р), рутилові (Т), органічні (О), кислі (А), основні (Б), целюлозні (ІД) та ін.

Діаметр електрода залежить від товщини деталі, типу шва, його розміщення в просторі. На практиці діаметр електрода рекомендується вибирати за табл.1.

Таблиця 1 – Вибір діаметра електрода при ручному зварюванні

Товщина зварювальних деталей, мм	0,5...1,0	1...2	2...3	3	3...4	4...6	8...12	12...16	16...20	Понад 20
Діаметр електрода	1,6	2	2...3	3	3	4	4...5	5	5...6	6

Кут нахилу електрода вибирають залежно від товщини зварюваного виробу і властивостей матеріалу. На практиці зручно використовувати залежності, зображені на рис.1. При цьому необхідно враховувати, що чим більший кут нахилу, тим більша теплова дія на деталь.

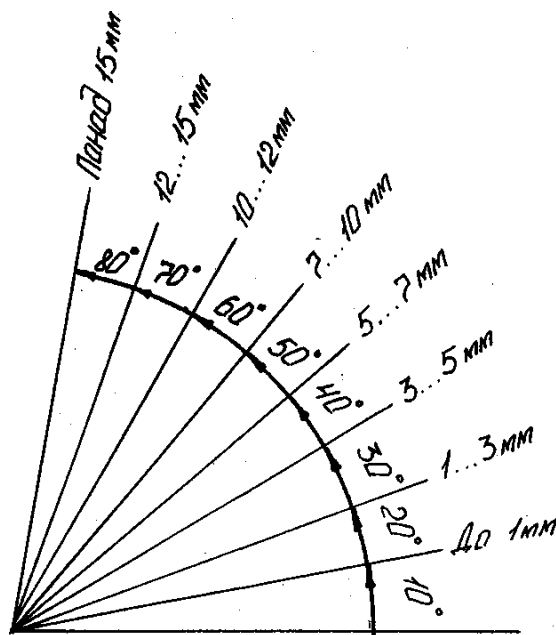


Рисунок 1 – Залежність кута нахилу електрода від товщини зварюваних деталей

Для електродугового зварювання й наплавлення застосовують джерела постійного (перетворювачі, випрямлячі, генератори) та змінного (трансформатори) струмів: перетворювачі ПСО-300, ПСО-500, ПГС-500 та ін. (300, 500 – номінальний струм, А); випрямлячі зварювальні ВС-300, ВС-500 (напівпровідникові, селенові), ВАГГ-24-600 (германієві); трансформатори типів РСТ, СТИ, ТС і ТСК (наприклад, ТС-120, ТС-300, ТС-500, ТСК-300 та ін.) бувають з окремою реактивною котушкою, ввімкненою у вторинне електричне коло, а також з реактивною котушкою, вмонтованою безпосередньо в трансформатор, їх первинна напруга дорівнює 220/380 В, а вторинна – згідно з паспортом; номінальний струм 300...500А.

Осцилятори застосовують для підвищення стабільності горіння дуги, полегшення її збудження (при зварюванні на змінному струмі). Осцилятор – це генератор струму високої частоти, який при вмиканні трансформатора подає в коло додатковий струм, що стимулює іонізацію дуги і підтримує її горіння (не дає затухати після збудження). Промисловістю випускаються осцилятори марок ОС, ОСПЗ, М-3 та ін.

Висновки. Розглянуто отримання зварного шва при електродуговому зварюванні деталей з використанням змінного та перемінного струму. Запропоновано методи з усунення "холодних" та "гарячих" тріщин, вибору електродів при ручному зварюванні та обладнання для електродугового зварювання та наплавлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Масино М.А. Организация восстановления автомобильных деталей / Масино М.А. – М.: Транспорт, 1979. – 169с.
2. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей / Воловик Е.Л. – М.: Колос, 1991. – 351с.
3. Малышев А.Г. Справочник технолога авторемонтного производства / под ред. Малышева А.Г. – М.: Транспорт, 1997. – 432с.
4. Восстановление автомобильных деталей: Технология и оборудование: [учеб. для вузов] / В.Е.Канарчук, А.Д.Чигринец, О.Л.Голяк, П.М.Шоцкий. – М.: Транспорт, 1995. – 303с.

УДК 612.791

НОСОВ Д.Г., старший викладач

Дніпродзержинський державний технічний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ВПЛИВУ МАГНІТНИХ ПОЛІВ НА ДИНАМІКУ ДУГИ І ФОРМОУТВОРЕННЯ ВАЛИКІВ

Вступ. Правильний вибір технологічних параметрів режиму наплавлення має велике значення для отримання бездефектного наплавленого шару з достатньо рівною поверхнею, що забезпечує зменшення витрат на механічну обробку. Експериментально було встановлено, що при дуговому наплавленні дротом марки Св-08А діаметром 3...5 мм під флюсом АН-348А із використанням запропонованої у роботі [1] схеми розташування електромагнітів, яка утворює комбіноване магнітне поле, забезпечується формування асиметричного валика.

Постановка задачі. Підвищення ефективності процесу дугового наплавлення шляхом використання магнітних полів є актуальною задачею. Проте у відомих публікаціях за даним напрямом мають місце деякі протиріччя, що потребувало виконання досліджень з метою визначення динаміки впливу керуючих магнітних полів на дугу та розміри наплавленого валика у поперечному перетині.

Результати роботи. Для визначення умов формування валика при наплавленні під флюсом феромагнітним дротом нами виконані дослідження впливу магнітних полів при їх комбінації на його геометричні параметри [2]. Встановлено, що одним з головних чинників, що впливає на процес формування валиків, є зварювальна дуга. Формування симетричного валика відбувається при співосному положенні дуги та електрода. Формування асиметричного валика відбувається при зміщенні вісі стовпа дуги у бік відносно вектора наплавлення на величину не менш, ніж $0,2b$, де b – ширина валика. Питання відхилення дуги під впливом керуючих магнітних полів розглядалися в роботах [3-6]. Їх авторами запропоновані розрахункові методики визначення координат активної плями дуги на виробі при впливі зовнішніми магнітними полями (МП). Автори відмічають складність математичного описання процесу відхилення з огляду на багатофа-

кторність та суперечливість відомих даних про дугу і процеси, що в ній відбуваються, тому розроблені розрахункові методики мають припущення та обмеження, а саме: прийнята циліндрична модель стовпа дуги, не враховано власне МП стовпа дуги, розглянуто вплив лише поперечного МП при зварюванні неплавким електродом, що не дозволяє їх використання у випадку наплавлення під флюсом у КМП феромагнітним дротом та потребує уточнень. Для способу зварювання під флюсом В.С.Мечовим у роботі [7] запропоновано загальний підхід до визначення впливу поперечного МП на дугу, згідно з яким вісь стовпа дуги займає такі точки у просторі, в яких сумарна величина індукції дорівнює нулю.

З метою перевірки даного припущення та визначення ефективності впливу керуючих магнітних полів на розміри наплавленого валика у поперечному перетині досліджували топологію КМП в зоні дуги та зоні його впливу на формування валика та НШЗ. Для цього проводили вимірювання поздовжніх (B_z , B'_z) та радіальної (B_x) компонентів індукції за схемою, наведеною на рис.1. Відстань від плоского торця електрода 6 до пластини 7 становила $\Delta = 5$ мм при вильоті електрода $l_e = 35$ мм для $d_e = 4$ мм. У наших дослідженнях використовували феромагнітний дріт Св-08А діаметром 4 мм, а як основний метал – пластину зі сталі 09Г2С. Нижні торці магнітопроводів 3, 5 електромагнітних котушок 2, 4 пристрою генерації КМП перебували на відстані 25 мм від сталеві пластини 7.

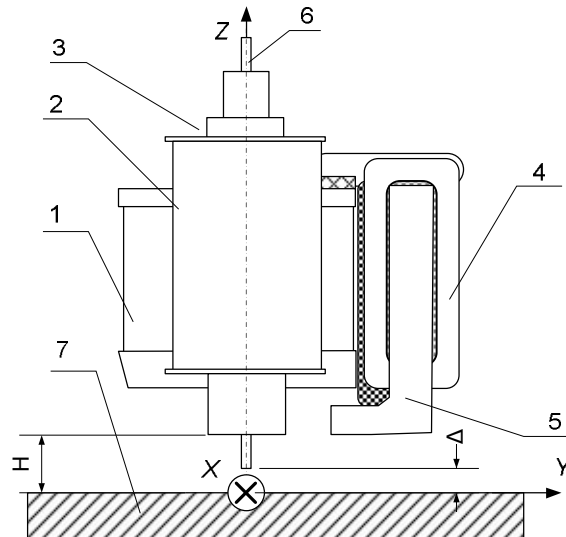


Рисунок 1 – Схема виміру компонентів індукції B_z та B_x КМП на поверхні основного металу (пояснення у тексті)

Пристрій для створення комбінованих магнітних полів складалася із трьох електромагнітів. Один з електромагнітів 1, що забезпечує складову індукцій B_z відносно напрямку вектора наплавлення V_n , виконаний у вигляді котушки соленоїду, яку встановлено на трубчастий магнітопровід. Електродний вузол, через який проходив зварювальний дріт, розміщений у внутрішньому отворі трубчастого магнітопроводу. Магнітопровід електромагніту 2, виконаний із стрижнеподібних осердь 3, встановлених паралельно вісі електродного вузла, забезпечує складову індукцій B'_z . Котушка соленоїду третього електромагніту 4 розташована на горизонтальній ділянці П-подібного магнітопроводу 5, що забезпечує складову індукцій B_x .

Топологію магнітного поля системи тіл, яку використовували у експерименті, визначали шляхом виміру поздовжньої B_z та радіальної B_x складових вектора магнітної індукції B . З урахуванням наявності постійної та змінної складової КМП індукцію постійного магнітного поля вимірювали мілітесламіром типа ЭМ-4305 с датчиком Хола з базою 1×1 мм, а індукцію змінного магнітного поля – мілітесламіром типа Ф-4356 с да-

тчиком Хола з базою 4×4 мм. Напрямок вектора магнітної індукції обрано з урахуванням напрямків струму в котушці та струму наплавлення.

Матрицю вимірів складових індукцій на майданчику 10×10 см складали із кроком 5 мм у подовжньому та поперечному напрямках.

Вимірювання виконували за наступним планом: 1) у подовжньому постійному полі B_z ; 2) у подовжньому змінному полі B'_z ; 3) у поперечному імпульсному змінному полі B_x . Параметри магнітного поля на відповідних котушках встановлювались у межах: $B_z = 60$ мТл; $B'_z = 65$ мТл; $B_x = 40$ мТл під торцем електрода.

Після вимірів компонентів індукцій B_z , B'_z та B_x для кожного електромагніту окремо, використовуючи принцип суперпозиції полів, в математичному пакеті *MathCAD* обраховували загальні польові матриці. Довжину вектора індукції B та кут відхилення вектора від нормалі обчислювали за формулами: $B = \sqrt{B_z^2 + B_\delta^2}$, $\phi = \arctg(B_\delta / B_z)$. Отримані дослідно-розрахункові матриці переводили у графічний вигляд оператором M^T . Топологія магнітних полів у дослідних зонах для комбінацій $B_z - B_x$, $B_z - B'_z$, $B'_z - B_x$ та $B_z - B'_z - B_x$ наведено на рис.2.

Як видно на рис.2, при поєднанні магнітних полів згаданої вище конфігурації близько вісі електрода спостерігається дільниця з мінімальним екстремумом індукції. Назвемо її пляма «мінімальної індукції». Дуга має зайняти те положення, де вона досягає мінімального опору, тобто на плями «мінімальної індукції».

На рис.2, а зображена конфігурація МП при комбінації подовжнього постійного поля B_z та поперечного імпульсного змінного поля B_x . Пляма «мінімальної індукції» зміщена відносно вісі електрода назад та вбік в середньому на відстань 8 мм. Тому при такому комбінуванні МП забезпечують підвищення глибини проплавлення за рахунок відведення рідкого металу із головної частини зварної ванни у хвостову. Крім того встановлено, що зміна полярності протікання струму у котушці соленоїду B_z не призводить до суттєвих змін у положенні плями «мінімальної індукції», а дільниця максимальної величини вектора індукції ($B = 100 \dots 110$ мТл), розташована навколо вісі електрода, не забезпечує якісного формування наплавленого валика. Таким чином, комбінування двох МП – подовжнього постійного поля B_z та поперечного імпульсного змінного поля B_x – недостатньо для формування якісного валика асиметричної форми.

На рис.2, б зображена конфігурація МП при комбінації подовжнього змінного поля B'_z та подовжнього постійного поля B_z . Пляма «мінімальної індукції» розтягнута вздовж вісі X та зміщена відносно вісі електрода вперед та вбік в середньому на відстань 8 та 4 мм відповідно. Перше вказує на можливість блукання дуги вздовж вектора наплавлення, а друге – на зниження глибини проплавлення за рахунок витискування рідкого металу із хвостової частини зварної ванни у головну. Дільниця максимальної величини вектора індукції ($B = 100 \dots 110$ мТл) зосереджена півкільцем навколо вісі електрода, що забезпечує збільшення ширини валика, проте, також не забезпечує формування його асиметрії.

Комбінування подовжнього змінного поля B'_z та поперечного імпульсного змінного поля B_x (рис.2, в) формує явно виражену структуру магнітного поля із зміщенням плями «мінімальної індукції» на величину до 12 мм у поперечному напрямку та розширення дільниці з низьким рівнем індукції $B = 30 \dots 40$ мТл. Однак зміщення плями «мінімальної індукції» проти вектора наплавлення призводить до збільшення глибини проплавлення, що є небажаним у процесах наплавлення. Крім того, дослідження, виконані у роботі [2], вказують на неможливість стабілізації дуги під впливом некомпенсованого поперечного поля B_x індукцією більше 80 мТл. Тому використання зазначеної комбінації МП не є ефективним для отримання якісно сформованого асиметричного валика.

На нашу думку, найбільш ефективним є комбінування трьох МП (рис.2, г). Пляма «мінімальної індукції» зміщена відносно вісі електрода на 4...8 мм, а індукція B комбінованого магнітного поля повинна забезпечити формування якісного асиметричного валика.

Таким чином, запропонована в роботі [1] схема розташування електромагнітів дозволяє отримати необхідний для зміни геометричних розмірів перетину валика, що наплавується, рівень та напрямок індукції комбінованого магнітного поля, які дозволяють в більш широких межах, ніж при використанні одного поздовжнього магнітного поля або комбінуванні декількох ($B_z - B_x; B_z - B'_z; B'_z - B_x$) магнітних полів впливати на показники глибини проплавлення, ширини та висоти валика та формування його асиметричного профілю.

Висновки.

1. Показано, що найбільш ефективно на електричну дугу можна впливати шляхом комбінування трьох різноспрямованих магнітних полів.
2. Підтверджено припущення про зміщення електричної дуги в зону мінімальної величини індукції, у тому числі й при комбінуванні магнітних полів.
3. Запропонована схема розташування електромагнітів керуючого магнітного поля при наплавленні в КМП дозволяє одержувати валик асиметричної форми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Носов Д.Г. Використання асиметричного магнітного поля для керування формою проплавлення основного металу / Д.Г.Носов, В.В.Перемітько // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету: (технічні науки). – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2008. – С.73-78.
2. Носов Д.Г. Эффективность применения комбинированных магнитных полей при дуговой наплавке под флюсом / Д.Г.Носов, А.Д.Размышляев // Автоматическая сварка. – 2009. – № 4. – С.20-25.
3. Акулов А.И. Об отклонении дуги в поперечном магнитном поле / А.И.Акулов, Л.К.Мартинсон, И.М.Ковалев // Сварочное производство. – 1969. – №11. – С.43-45.
4. Бачелис И.А. О поведении дуги в магнитном поле / И.А.Бачелис // Сварочное производство. – 1969. – №11. – С.45-47.
5. Ковалев И.М. Отклонение сварочной дуги в поперечном магнитном поле / И.М.Ковалев // Сварочное производство. – 1965. – №10. – С.4-6.
6. Бачелис И.А. О расчете отклонения сварочной дуги в постоянном поперечном магнитном поле / И.А.Бачелис // Сварочное производство. – 1963. – №7. С.8-10.
7. Мечев В.С. О магнитном поле тока, протекающего по электродам / В.С.Мечев // Сварочное производство. – 1969. – №6. – С.7-11.