

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ МЕТАЛЕВОЇ СТРУЖКИ  
ВІД МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧИХ РІДИН ЗА ДОПОМОГОЮ МІЮЧИХ РОЗЧИНІВ****О. В. Чернишов, Д. Г. Музичка, А. І. Трикіло, В. А. Яновський**

Дніпровський державний технічний університет

вул. Дніпробудівська, 2, м. Кам'янське, 51918, Україна. E-mail: avch2006@ukr.net, muzichka@ua.fm, trukilo@i.ua

Житомирський державний технологічний університет

вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10002, Україна. E-mail: googlyan2010@gmail.com

Металева стружка, яка утворюється при механічній обробці деталей, є цінною сировиною для металургійної промисловості й порошкової металургії. Але подальша її переробка неможлива без якісного очищення від залишків мастильно-охолоджувальних рідин (МОР), які застосовуються при обробці різанням. Метою роботи є дослідження процесу очищення металевої стружки із застосуванням ультразвукових коливань для інтенсифікації процесу миття; визначення оптимальних технологічних параметрів (вмісту масла на стружці, миючі розчини) та режимів процесу очищення (часу миття, концентрації та температури миючого розчину); встановлення виду миючого розчину, який забезпечить найбільшу ефективність процесу миття. При проведенні експериментальних досліджень використано метод планування багатofакторного експерименту. Процес миття стружки з його інтенсифікацією ультразвуковими коливаннями проводився на ультразвуковій установці УЗДН-А. В якості МОР використані масло І-20 та емульсія ЕТ-2. Як мийні розчини досліджувалися димер, лабомід, кальцинована сода. При розробці математичних моделей виконана процедура статистичної обробки даних відносно нелінійної моделі з подальшою її перевіркою на адекватність фізичному процесу. Отримано математичні моделі процесів миття металевої стружки від МОР для миючих розчинів димеру, лабоміду та кальцинованої соди. Досліджено і проаналізовано вплив вмісту масла на стружці, концентрації та температури миючого розчину на ступінь очищення стружки для досліджуваних миючих розчинах. Результати проведених досліджень представлено графічно у вигляді поверхонь відгуку. Вперше встановлено, що зі збільшенням концентрації мийного розчину ступінь його очищення зростає, а досягши певної концентрації подальше її збільшення істотного впливу на ступінь очищення не має. Час знаходження стружки в миючому розчині при інтенсифікації процесу миття ультразвуковими коливаннями на процес очищення не впливає. Оптимальною концентрацією для всіх досліджуваних миючих розчинів є 15–20 %. Оптимальна робоча температура очищення стружки становить для димеру – 20–30 °С, лабоміду – 70–80 °С, для розчину кальцинованої соди – 80–90 °С. Виявлено, що при застосуванні ультразвукового очищення використання лабоміду не доцільно внаслідок його підвищеного піноутворення. Найбільшу ефективність процесу миття забезпечує димер. Отримані результати можуть бути рекомендовані для миття стружки різних марок конструкційних вуглецевих сталей та кольорових металів.

**Ключові слова:** миючий розчин; димер; лабомід; кальцинована сода; ультразвукові коливання; миття; металева стружка.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУЖКИ  
ОТ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ ПОМОЩИ МОЮЩИХ РАСТВОРОВ****А. В. Чернишов, Д. Г. Музичка, А. І. Трикіло, В. А. Яновський**

Днепропетровский государственный технический университет

ул. Днепропетровская, 2, г. Каменское, 51918, Украина. E-mail: avch2006@ukr.net, muzichka@ua.fm, trukilo@i.ua

Житомирский государственный технологический университет

ул. Чудновская, 103, м. Житомир, 10002, Украина. E-mail: googlyan2010@gmail.com

Металлическая стружка, образующаяся при механической обработке деталей, является ценным сырьем для металлургической промышленности и порошковой металлургии. Но дальнейшая ее переработка невозможна без качественной очистки от остатков смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), применяемых при обработке резанием. Целью работы является исследование процесса очистки металлической стружки с применением ультразвуковых колебаний для интенсификации процесса мойки; определение оптимальных технологических параметров (содержания масла на стружке, моющего раствора) и режимов процесса очистки (время мойки, концентрация и температура моющего раствора); установления вида моющего раствора, который обеспечит наибольшую эффективность процесса мойки. При проведении экспериментальных исследований использован метод планирования многофакторного эксперимента. Процесс мойки стружки с его интенсификацией ультразвуковыми колебаниями проводился на ультразвуковой установке УЗДН-А. В качестве СОЖ использовались масло И-20 и эмульсия ЭТ-2. В качестве моющих растворов исследовались димер, лабомид, кальцинированная сода. При разработке математических моделей выполнена процедура статистической обработки данных относительно нелинейной модели с последующей ее проверкой на адекватность физической процесса. Получены математические модели процессов мытья металлической стружки от СОЖ для моющих растворов димера, лабомида и кальцинированной соды. Исследовано и проанализировано влияние содержания масла на стружке, концентрации и температуры моющего раствора на степень очистки стружки для исследуемых моющих растворов. Результаты проведенных исследований представлены в виде поверхностей отклика. Впервые установлено, что с увеличением концентрации моющего раствора степень его очистки возрастает, а достигнув определенной концентрации дальнейшее ее увеличение существенного влияния не оказывает. Время пребывания стружки в моющем растворе при интенсификации процесса мойки ультразвуковыми колебаниями на процесс

очистки не впливає. Оптимальною концентрацією для всіх досліджуваних мийних розчинів є 15–20 %. Оптимальна робоча температура очищення стружки становить для димера – 20–30 °С, лабомида – 70–80 °С, для розчину кальцинованої соди – 80–90 °С. Установлено, що при використанні ультразвукової очистки використання лабомида нецелесообразно внаслідок його підвищеного піноутворення. Найбільш ефективною процесом миття є димер. Отримані результати можуть бути рекомендовані для миття стружки різних марок конструкційних вуглецевих сталей і кольорових металів.

**Ключові слова:** мийний розчин; димер; лабоמיד; кальцинована сода; ультразвукові коливання; мийка; металевий стружок.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** В машинобудуванні при механічній обробці деталей утворюється велика кількість металевих стружок, яка, з одного боку, є відходами механообробного виробництва, а з іншого – цінною сировиною для металургійної промисловості й порошкової металургії.

Застосування відходів механообробного виробництва у якості вторинної сировини є великим резервом економії не лише природних ресурсів, але й підвищення ефективності виробництва і поліпшення екологічної обстановки на підприємствах [1, 2]. Авторами [3] відзначають, що для всіх методів переробки стружки її необхідно попередньо очищати від домішок, масел та МОР.

При обробці різанням металевих заготовок застосовують мастильно-охолоджуючу рідину (МОР). Кількість рідини, що покриває поверхню стружки при виході із зони різання, складає приблизно 30 % від маси стружки. При транспортуванні стружки, її відстоюванні кількість МОР, що змочує її, зменшується до 8–10 %. При транспортуванні неочищеної стружки забруднюються дороги, вагони, складські платформи. Крім того, безповоротно втрачається значна кількість масла.

В процесі випалювання стружки перед її брикетуванням забруднюється навколишнє середовище. Присутність на поверхні стружки залишків МОР погіршує її брикетування, різко знижує металургійну цінність виготовлених з неї брикетів. При переплавці такої стружки спостерігається її вигорання до 30 %. При цьому вигорає в основному залізо і леговані елементи (20–25 % хрому, 40–45 % марганцю, 12–16 % вольфраму та ін.) [4]. Для виробництва легованих сталей і феросплавів допустимо застосовувати стружку, яка містить на поверхні не більше 1 % домішок МОР.

Таким чином виникає питання очищення металевих стружок від МОР перед її подальшим використанням або переробкою, особливо методами порошкової металургії, шляхом її знежирювання.

Існує велика кількість способів очищення металевих поверхонь. Авторами [5, 6, 7] проаналізовані традиційні способи їх очищення: методом занурення, очищення струменем розчинника, електролітичне очищення, електрогідролітичне очищення, ультразвукове очищення, пневмо-абразивне (з використанням електрокорунду, гранул CO<sub>2</sub>, гідрокарбонату натрію) та гідроабразивне очищення. При цьому ними відмічено низка суттєвих недоліків, серед яких екологічна небезпечність; відносно великі витрати матеріалів, які у своїй більшості відносяться до невідновних ресурсів планети; значна енергоємність; комплексний негативний вплив на навколишнє середовище, працівників та населення.

На підставі проведеного нами аналізу способів встановлено, що для підвищення ефективності процесу очищення металевих стружок в машині для миття доцільно використати комбінацію занурювального, струминного та ультразвукового методів.

Найбільш розповсюджений спосіб видалення забруднень з поверхні – очищення методом занурення в ємності з мийними розчинами [8]. При цьому в якості мийних розчинів використовуються суміші ПАР, різних розчинників, слабкі розчини лугів і кислот, бензину, гасу. Ефективність очищення підвищується при перемішуванні мийного розчину. Недоліками цього способу є використання великих об'ємів небезпечних для навколишнього середовища та здоров'я людей речовин, які, в основному, є легко летючими сполуками. Аналіз закордонних літературних джерел [9, 10] показує, що використання нехлорованих вуглецевих розчинників (KW), незважаючи на пожежонебезпечність, весь час збільшується за рахунок удосконалення обладнання, в якому інтенсифікація процесів очищення та обезжирення здійснюється за допомогою ультразвуку, флотації та вакуумної сушки. У цьому випадку KW можуть замінити методи, де використовуються хлоровані вуглецеві розчинники (СКW) [6].

При використанні ультразвукового способу очищення як мийні складові застосовують органічні розчинники, а також водні розчини мийних речовин. До недоліків ультразвукових установок, крім їхньої високої енергоємності, варто віднести і складність обладнання, а також застосування різних видів розчинників, що можуть негативно впливати на працюючих і навколишнє середовище, утворення токсичних відходів [6].

При використанні струменевого методу очищення механічний фактор проявляється як удар струменя на забруднення, які видаляються, що приводить до їх руйнування та вивію. Підвищення тиску води з 2,5 до 15 МПа при видаленні зовнішніх забруднень приводить до збільшення продуктивності процесу очищення до 20 разів, зниженню енерговитрат у 4 рази та витрат води у 10 разів.

На даний час існує багато різних конструкцій мийних машин та установок, які працюють за різними методами очищення або їх комбінацією. Проте кожна з конструкцій машин має певні недоліки.

На кафедрі технології машинобудування Дніпровського державного технічного університету розроблена конструкція мийної машини [11, 12], в якій для очищення стружки використовується комбінований метод (тобто такий, який поєднує у собі одночасно декілька методів – занурення, струминний та ультразвуковий). Використання цієї машини дає можливість підвищити продуктивність, енергоефек-

тивність та якість процесу миття, знизивши при цьому його собівартість.

Метою роботи є дослідження процесу очищення металевої стружки від залишків МОР із застосуванням ультразвукових коливань для інтенсифікації процесу миття; визначення оптимальних технологічних параметрів (вмісту масла на стружці, миючого розчину) та режимів процесу очищення (часу миття, концентрації та температури миючого розчину); встановлення виду миючого розчину, який забезпечить найбільшу ефективність процесу миття.

**МАТЕРІАЛІ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.**

Експериментальні дослідження процесу миття стружки з його інтенсифікацією ультразвуковими коливаннями проводилися на ультразвуковій установці УЗДН-А. В якості МОР використовували масло І-20 та водну емульсію ЕТ-2.

Методика вибору миючого розчину включала оцінку таких параметрів: тривалість очищення металевих поверхонь від масляних і водних МОР, здатність до переробки і регенерації, корозійний вплив на об'єкт очищення, стійкість розчину, його вартість і здатність не утворювати великої кількості піни.

Для очищення стружки від залишків МОР застосовано такі миючі розчини: дімер (висококонцентрована лужна миюча речовина, що застосовується для миття автомобільного транспорту), лабомід (комплексне з'єднання активних речовин на основі солей, що застосовується для очистки вузлів та деталей, таких, як двигуни, редуктора та ін.) та розчин кальцінованої соди.

Експериментальні дослідження миючого середовища проводилися таким чином. У розчин занурювалася порція забрудненої стружки маслом І-20 або водними охолоджувальними рідинками на основі емульсії ЕТ-2, інтенсивно перемішувалася, щохвилини витягалася з розчину, висушувалася шляхом продування теплим повітрям і зважувалася на електронних вагах. Досліди повторювали декілька разів за умови зміни концентрації одного з компонентів при постійній температурі. Для інтенсифікації процесу миття стружки використовувалась ультразвукова установка УЗДН-А з постійною частотою коливань.

З метою дослідження впливу температури і концентрації миючого розчину, а також часу миття на ступінь очищення стружки з вуглецевої сталі в машинах, які використовують ультразвуковий метод очищення, було використано метод планування багатофакторного експерименту. Планування наукового експерименту не дозволяє отримати математичну модель досліджуваного процесу, а лише дає можливість ефективно оцінити коефіцієнти математичної моделі, вибраної на підставі інформації про процес.

Вибрана математична модель відбиває зв'язок між параметрами процесу, включеними в розгляд, і в загальному вигляді представляється функцією багатьох змінних:

$$Y = f(X_1; X_2; \dots; X_n). \quad (1)$$

Для побудови математичної моделі прийняті наступні позначення:  $Y$  – ступінь очищення;  $X_1$  – концентрація миючого розчину;  $X_2$  – температура миючого розчину;  $X_3$  – вміст масла на стружці;  $X_4$  – час миття.

Стандартна модель включає лінійну і нелінійну комбінацію чинників. Після оцінювання результатів експериментальних і розрахункових даних по моделі, нами встановлено, що доцільно використовувати нелінійну комбінацію чинників. При розробці моделі виконана процедура статистичної обробки даних відносно нелінійної моделі з подальшою її перевіркою на адекватність фізичному процесу. Передбачається, що ця модель буде використана в подальшому моделюванні фізичних процесів в запропонованій машині. Спрощення математичних залежностей дозволить створити надійніші методи розрахунку при проектуванні миючих машин.

При проведенні експерименту і побудови моделі залежності  $Y$  від  $X_i (i = 1; 2; 3; 4)$  застосовувалися методи ортогонального центрального композиційного планування. З урахуванням «зоряних» точок і центральної точки число дослідів складає 20. Рівні варіювання чинників в експерименті приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Рівні варіювання чинників

Значення	«Зіркові» точки $\bar{x}_i = -1,414$	Нижній рівень $\bar{x}_i = -1$	Основний рівень $\bar{x}_i = 0$	Верхній рівень $\bar{x}_i = +1$	«Зіркові» точки $\bar{x}_i = +1,414$
$X_1$	5	9	20	31	35
$X_2$	20	30	55	80	90
$X_3$	2	3	6	9	10
$X_4$	1	2	4	6	7

При обробці отриманих результатів використано методи математичної статистики за допомогою програмного комплексу STATISTICA 10. Це дало можливість отримати моделі процесу миття стружки для різних миючих розчинів при оптимальних режимах миття, а також побудувати поверхні відгуку залежності ступеню очистки стружки від МОР при різних комбінаціях двох параметрів при заданому значенні третього.

Ступінь очищення стружки оцінюється відношенням (у відсотках) видаленої з її поверхні маси забрудника до його початкової маси.

Отримано математичні моделі ступеню очищення стружки для миючого розчину на основі дімеру від наступних параметрів:

– від температури розчину та концентрації розчину (рис. 1):

$$Y_1 = 68,0027 + 3,734X_1 - 0,4333X_2 - 0,0748X_1^2 + 0,0015X_1X_2 + 0,046X_2^2; \quad (2)$$

– від вмісту масла на стружці та концентрації розчину (рис. 2):

$$Y_2 = 105,8459 + 4,3553X_1 - 17,9067X_3 - 0,0793X_1^2 - 0,0754X_1X_3 + 1,4884X_3^2; \quad (3)$$

– від вмісту масла на стружці та температури миючого розчину (рис. 3):

$$Y_3 = 184,7866 - 0,3901X_2 - 25,0267X_3 + 0,0056X_2^2 - 0,0305X_2X_3 + 1,8718X_3^2. \quad (4)$$

Отримано математичні моделі ступеню очищення стружки для миючого розчину на основі лабоміду від наступних параметрів:

– від температури розчину та концентрації розчину описується рівнянням (рис. 4):

$$Y_4 = 90,1073 - 1,101X_1 + 0,5983X_2 + 0,0074X_1^2 + 0,0114X_1X_2 - 0,006X_2^2; \quad (5)$$

– від вмісту масла на стружці та концентрації розчину (рис. 5):

$$Y_5 = 280,4974 + 1,1099X_1 - 57,8101X_3 + 0,0176X_1^2 - 0,3034X_1X_3 + 4,7153X_3^2; \quad (6)$$

– від вмісту масла на стружці та температури розчину (рис. 6):

$$Y_6 = 222,8166 - 0,0356X_2 - 36,2227X_3 - 0,0058X_2^2 + 0,1269X_2X_3 + 1,9937X_3^2. \quad (7)$$

Отримано математичні моделі ступеню очищення стружки для миючого розчину на основі кальцинованої соди:

– від температури розчину та концентрації розчину описується рівнянням (рис. 7):

$$Y_7 = 120,535 - 1,0527X_1 - 1,2993X_2 + 0,023X_1^2 + 0,0018X_1X_2 + 0,0113X_2^2; \quad (8)$$

– від вмісту масла на стружці та концентрації розчину (рис. 8):

$$Y_8 = 52,1695 - 0,796X_2 + 14,3766X_3 - 0,0331X_2^2 + 0,3428X_2X_3 - 1,7508X_3^2; \quad (9)$$

– від вмісту масла на стружці та температури розчину (рис. 9):

$$Y_9 = 163,5227 - 2,0081X_2 - 11,1875X_3 + 0,0066X_2^2 + 0,2485X_2X_3 - 0,2724X_3^2. \quad (10)$$

Аналіз представлених моделей показав, що зі збільшенням концентрації розчину ступінь очищення зростає, а досягши певної концентрації подальше її збільшення істотного впливу на ступінь очищення не має. Оптимальною концентрацією для всіх досліджуваних миючих розчинів є 15–20 %. Оптимальна температура для дімеру становить 20–30 °С, лабоміду – 70–80 °С, для розчину кальцинованої соди – 80–90 °С.

Параметр  $X_4$  (час миття) внаслідок своєї незначущості у формулах (1)–(9) відсутній. Це пояснюється тим, що внаслідок інтенсифікації процесу миття ультразвуковими коливаннями час миття скорочується до мінімуму і подальший час знаходження стружки в машині значного впливу не має.

Результати проведених досліджень представлено у вигляді поверхонь відгуку (рис. 1–9). Позначення на графіках:  $D$  – ступінь очищення, %;  $BD$  – вміст масла на стружці, %, при певному миючому розчині;  $C$  – концентрація розчину, %;  $T$  – температура розчину, °С.

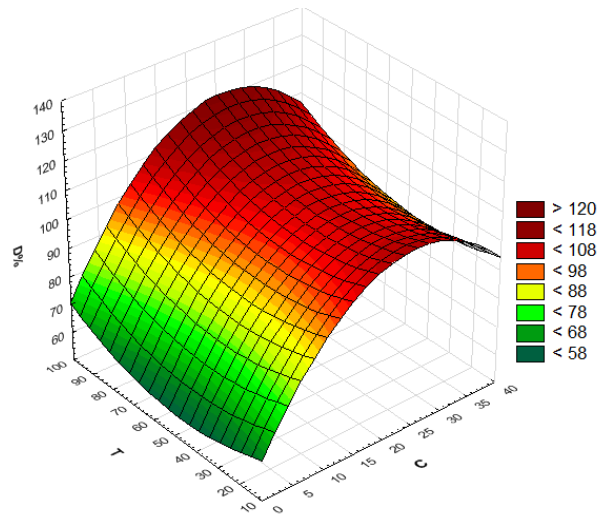


Рисунок 1 – Залежність ступеню очистки стружки від температури розчину та концентрації розчину для дімеру

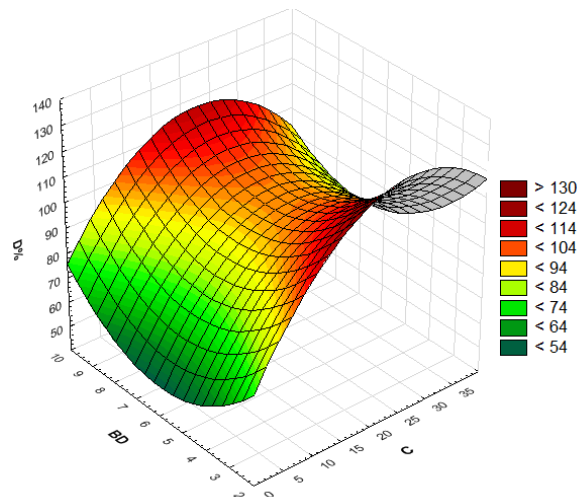


Рисунок 2 – Залежність ступеню очистки стружки від вмісту масла на стружці та концентрації розчину для дімеру

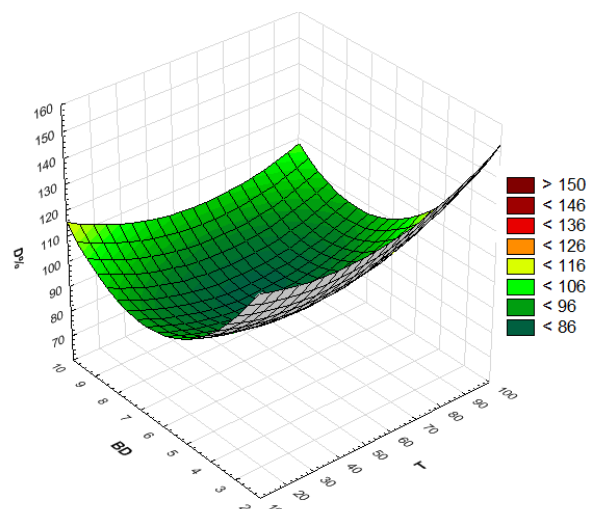


Рисунок 3 – Залежність ступеню очистки стружки від вмісту масла на стружці та температури миючого розчину для дімеру

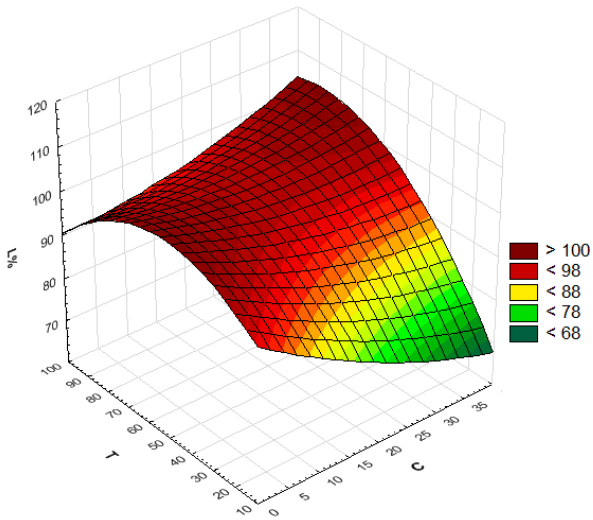


Рисунок 4 – Залежність ступеню очистки стружки від температури розчину та концентрації розчину для лабоміду

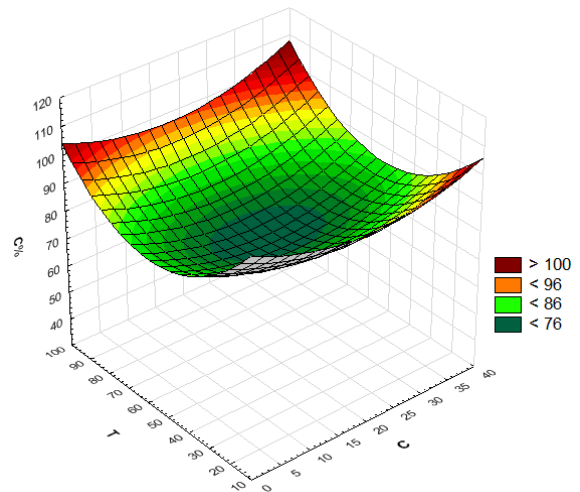


Рисунок 7 – Залежність ступеню очистки стружки від температури розчину та концентрації розчину для кальцинованої соди

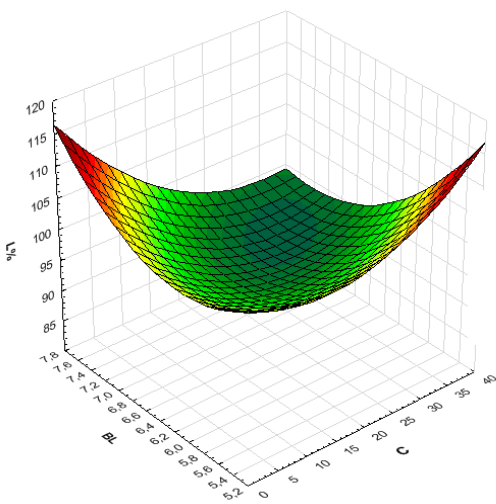


Рисунок 5 – Залежність ступеню очистки стружки від вмісту масла на стружці та концентрації розчину для лабоміду

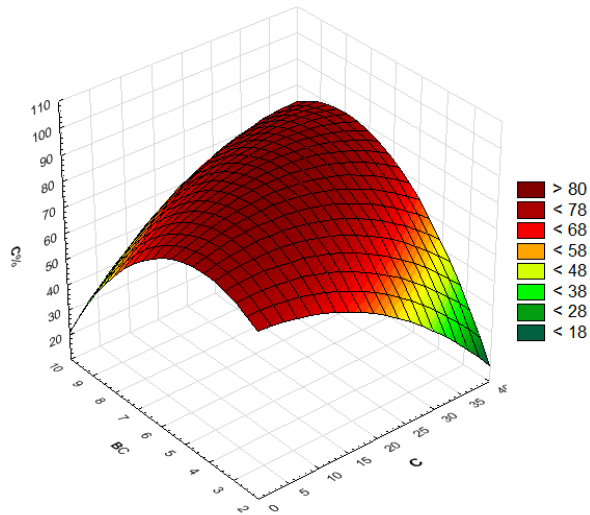


Рисунок 8 – Залежність ступеню очистки стружки від вмісту масла на стружці та концентрації розчину для кальцинованої соди

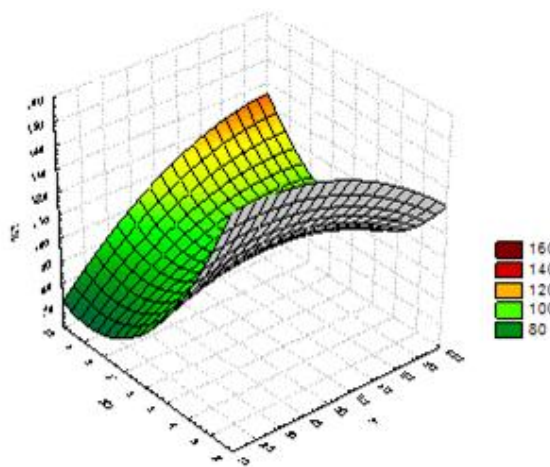


Рисунок 6 – Залежність ступеню очистки стружки від вмісту масла на стружці та температури розчину для лабоміду

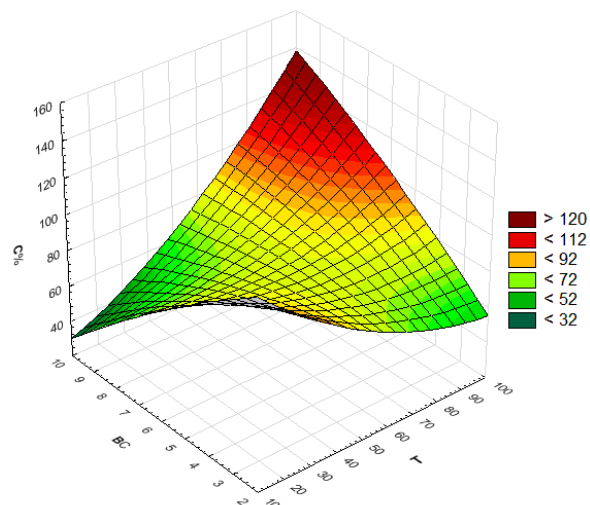


Рисунок 9 – Залежність ступеню очистки стружки від вмісту масла на стружці та температури розчину для кальцинованої соди

Аналіз рисунків 1–9 показав, що кількість масла на поверхні стружки суттєво не впливає на рівень ступеню очищення. Але встановлено, що у процесі миття стружки лабomidом спостерігається підвищене піноутворення. Тому при застосуванні ультразвукового очищення його використовувати не доцільно.

Перевірку адекватності отриманої моделі технологічному процесу миття здійснювали за критерієм Фішера  $F_p$ . Залишкова сума квадратів становила:

$$S_R^2 = \frac{1}{21} \sum_{i=1}^{25} (Y_i - Y_i^p)^2, \quad (11)$$

де  $Y_i^p$  – розрахункове значення параметра в  $i$ -тому досліді.

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_p = \frac{S_R^2}{S^2} = 0,8445. \quad (12)$$

Критичне значення критерію Фішера складає  $F_{кр} = 3,1$ . Оскільки  $F_p < F_{кр}$ , то отримана модель адекватна з надійністю 0,95.

**ВИСНОВКИ.** Отримано математичні моделі процесів миття металевої стружки від МОР для миючих розчинів дімеру, лабomidу та кальцинованої соди. При цьому встановлено:

- оптимальні концентрації для вказаних миючих розчинів складають 15–20 %;
- робочі температури очищення стружки від МОР становлять: для дімеру – 20–30 °С, для лабomidу – 70–80 °С, для кальцинованої соди – 80–90 °С;
- найбільш енергоефективним та безпечним миючим розчином є дімер;
- при застосуванні ультразвукового очищення використання лабomidу не доцільно внаслідок його підвищеного піноутворення.

Отримані результати можуть бути рекомендовані для миття стружки різних марок конструкційних вуглецевих сталей та кольорових металів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Добровольский И. П., Чернявский И. Я., Абызов А. Н., Козлов Ю. Е. Переработка и утилизация промышленных отходов Челябинской области. Челябинск: Изд-ЧелГУ, 2000. 256 с.
2. Добровольский И. П., Рымарев П. Н. Перспективная технология переработки шламов конверторного производства стали и замасленной окалины.

Вестник Челябинского государственного университета. 2010. № 8 (189). *Экология. Природопользование*. Вып. 4. С. 40–45.

3. Кукуй Д. М., Емельянович И. В., Ровин Л. Е., Ровин С. Л. Опыт утилизации металлической стружки. *Литье и металлургия*. 2009. № 1 (50). С. 47–50.

4. Носков В. А., Чернышов А. В. Подготовка металлической стружки к утилизации. *Экология и промышленность*. 2005. № 1 (2). С. 49–51.

5. Царук О. В., Койда С. Г. Способы очистки металлических поверхностей. 2011. С. 149–156. Режим доступа:

<https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/18315/%D0%A1.%20149-156.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

6. Бовсуновський Є. О. Оцінка рівня екологічної безпеки технологічних процесів очищення металевих поверхонь деталей. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2016. Вип. 1 (96). С. 103–107.

7. Гребенюк Т. В., Онисимчук Т. М., Сербінова Л. А. Аналіз струменевих способів дезактивації поверхонь від радіоактивних забруднень. Проблеми охорони праці в Україні. 2016. № 31. С. 135–140.

8. Dini J.W. The assessment of the environmental damage caused by the processes of protective cover layering. *Plating & Surface Finishing* 90 (2003) 3, p. 30–31.

9. Cottica D.; Tech – Schrott vom Auftragen der Silisium-Schichten. *AIFM galvano technical nuove finitura* 12/53 (2002) 3, p. 140–142.

10. Stollreiter M. et al; Verarbeitung der Abfdlle von chemisch-thermischer Bearbeitung der Details mit Titanlegierungen. *Arbeitsschutz aktuell; Beilage zu Farbe und Lack* 109 (2003) 10, p. 14.

11. Носков В. А., Чернышов А. В. Подготовка металлической стружки к утилизации. *Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов: Сборник научных статей к XII Международной научно-практической конференции*. УкрГНТЦ «Энергосталь». Харьков: Рейдер, 2004. С. 320–323.

12. Носков В. А., Чернышов А. В. Подготовка металлической стружки в моечных машинах для ее дальнейшей переработки. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2004. № 6. С. 111–113.

### IMPROVING THE EFFICIENCY OF METAL CHIP WASHING PROCESS FROM LUBRICATING AND COOLING LIQUIDS BY CLEANSING SOLUTION

**O. Chernyshov, D. Muzychka, A. Trykilo, V. Yanovskyi**

Dniprovsk State Technical University

vul. Dniprobudivska, 2, Kamianske, 51918, Ukraine. E-mail: avch2006@ukr.net, muzichka@ua.fm, trukilo@i.ua

Zhytomyr State Technological University

vul. Chudnivska, 103, Zhytomyr, 10005, Ukraine. E-mail: googlyan2010@gmail.com

**Purpose.** Metal chip forming during parts machining is a valuable raw material both for the metallurgical industry, and powder metallurgy. But its further processing is impossible without qualitative washing from the residuals of lubricating and cooling liquids (LCL), which are used in the working by stock removal. The purpose of the work is to study the process of metal chips treatment using ultrasonic vibrations to intensify the washing process; the determination of optimal technological parameters (the oil content on the metal chips, cleaning solutions) and the modes of cleaning (washing time, concentration and temperature of the cleaning solution); installation of the type of cleaning solution, which will provide the most efficient washing process. **Methodology.** In the course of experimental research, the meth-

od of planning a multivariable experiment has been used. The process of washing the metal chips with its intensification by ultrasonic vibrations was carried out on the ultrasonic device УЗДН-А. As an LCL the oil I-20 and emulsion ET-2 have been used. Dimer, lamomid, soda ash were studied as a cleaning solution. In the development of mathematical models, a procedure for statistical processing of data relative to a nonlinear model has been performed with its subsequent verification of the adequacy of the physical process. **Results.** The mathematical models of metal chips washing processes from LCL for cleaning solutions of dimer, labomid and soda ash have been obtained. The influence of oil content on the metal chips, concentration and temperature of the cleaning solution on the degree of metal chips cleaning for the cleaning solutions under investigation has been studied and analyzed. The results of the conducted studies are presented graphically in the form of response surfaces. **Originality.** It was first established that with the increase in the concentration of cleaning solution the degree of its washing increases, and reaching a certain further concentration, its increase does not have significant effect on the washing degree. The stay time of metal chips in the cleaning solution under the washing process intensification with ultrasonic fluctuations does not affect the cleaning process. The optimal concentration for all investigated cleaning solutions is 15–20 %. The optimum operating temperature of metal chips treatment for dimer is 20–30 °C, labomid – 70–80 °C, solution of soda ash – 80–90 °C. It has been found that using ultrasonic cleaning the application of labomid is not appropriate due to its high foam formation. The dimer provides the most efficient washing process. **Practical value.** The results can be recommended for metal chips washing of various structural carbon steel grades and non-ferrous metals. References 11, tables 1, figures 9.

**Key words:** cleaning solution; dimer; labomid, soda ash; ultrasonic oscillations; washing, metal chips.

#### REFERENCES

1. Dobrovolskii, I. P. (2000), *Pererabotka i utilizatsiia promyshlennykh otkhodov Cheliabinskoi oblasti* [Recycling and utilization of industrial waste from the Chelyabinsk region], Izd-vo ChelGU, Cheliabinsk, Russia.
2. Dobrovolskii, I. P., Rymarev, P. N. (2010), Perspektivnaia tekhnologiya pererabotki shlamov konvertornogo proizvodstva stali i zamaslennoi okaliny, *Vestnik Cheliabinskogo gosudarstvennogo universiteta*, no. 8 (189), *Ekologiya. Prirodopolzovanie*, iss. 4, pp. 40–45.
3. Kukui, D. M., Emelianovich, I. V., Petrovskii, V. P., Rovin, L. E., Rovin, S. L. (2009), Opyt utilizatsii metallicheskoj struzhki, *Lite i metallurgiya*, no. 1 (50), pp. 47–50.
4. Noskov, V. A., Chernyshov, A. V. (2005), Podgotovka metallicheskoj struzhki k utilizatsii, *Jekologija i promyshlennost'*, No. 1 (2), pp. 49–51.
5. Tcaruk, O. V., Koida, S. G. (2011), Sposoby ochistki metallicheskih poverkhnostei, pp. 149–156, available at: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/18315/%D0%A1.%20149-156.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. Bovsunovskiy, Ye. O. (2016), Otsinka ravnja ekolohichnoi bezpeky tekhnolohichnykh protsesiv ochyshchennia metalevykh poverkhon detalei, *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*, iss. 1 (96), pp. 103–107.
7. Hrebenuk, T. V., Onysymchuk, T. M., Serbino-va, L. A. (2016), Analiz strumenevykh sposobiv dezaktyvatsii poverkhon vid radioaktyvnykh zabrudnen, *Problemy okhorony pratsi v Ukraini*, no. 31., pp. 135–140.
8. Dini, J. W. (2003), The assessment of the environmental damage caused by the processes of protective cover layering. *Plating & Surface Finishing*, 90, 3, pp. 30–31.
9. Cottica, D. (2003), Tech – Schrott vom Auftragen der Silisium-Schichten. *AIFM galvano technical nuove finitura*, 12/53, 3, pp. 140–142.
10. Stollreiter, M., et al; (2003), Verarbeitung der Abfdlle von chemisch-thermischer Bearbeitung der Details mit Titanlegierungen. *Arbeitsschutz aktuell; Beilage zu Farbe und Lack*, 109, 10, p. 14.
11. Noskov, V. A., Chernyshov, A. V. (2004), "Podgotovka metallicheskoj struzhki k utilizatsii", *Ehkologiya i zdorov'e cheloveka. Ohrana vodnogo i vozdušnogo bassejnov. Utilizaciya otkhodov. Sbornik nauchnykh statej k XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, UkrGNTC «Ehnergostal'»*. Rejder, Har'kov, pp. 320–323.
12. Noskov, V. A., Chernyshov, A. V. (2004), Podgotovka metallicheskoj struzhki v moechnyh mashinah dlja ee dal'nejshej peperabotki, *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*, no. 6. pp. 111–113.

Стаття надійшла 11.10.2018.