який зазвичай обчислюють для ω = 0 (стаціонарний режим) і на робочих частотах регуляторів.

Якщо в стаціонарному режимі і на робочих частотах $K_{зв} \approx 0$, об'єкт можна розглядати як однозв'язний і вести незалежне регулювання $P$ і $L$. Якщо $K_{зв} > 1$, доцільно поміняти місцями прямі і перехресні канали. Якщо $0 < K_{зв} < 1$, то розрахунок одноконтурних систем регулювання $P$ і $L$ слід вести за передатними функціями еквівалентних об'єктів, тобто враховувати вплив перехресних каналів. В цьому випадку можна поставити питання про створення автономних систем регулювання.

Враховуючи отримані результати, запропонована комбінована система регулювання випарника етилбензолу [3], яка включає як каскадні системи регулювання, так і динамічні компенсатори дії окремих збурень. Ця система може бути реалізована тільки з використанням обчислювальної техніки, тобто або в рамках АСКТП, або в рамках комп'ютерно-інтегрованої системи.

**Список використаних джерел:**

1. Юкельсон И. И. Технология основного органического синтеза: учеб. пособие / И. И. Юкельсон. – М.: Химия, 1968. – 846 с.

2. Дудников Е. Г., Автоматическое управление в химической промышлености: Учебник для вузов. Под ред. Е. Г. Дудникова. – М.; Химия, 1987. – 368 с.

3. Олійник С. В. Комбінована система регулювання випарника етилбензолу у виробництві стиролу [Текст] / Олійник С. В., Козаневич З. Я. // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – 2015: Перша Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених, студентів та аспірантів (АКІТ-2015): Матеріали конференції; Київ, 15-16 квітня 2015 р. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 130 с. : іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – С. 11-12. – 100 пр.

**Козечко В.А.**

*кандидат технічних наук, доцент,*
*Національний гірничий університет*

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ АЗОТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

Розширення попиту на машинобудівну продукцію і послуги в умовах сучасного ринку вимагають від виробників збільшення ресурсу роботи виробів та підвищення їх надійності. На сьогоднішній день на більшості машинобудівних підприємств України широко використовується технологія хіміко-термічної обробки (ХТО) з метою підвищення експлуатаційних характеристик деталей, що працюють в умовах агресивного середовища та інтенсивного зношування. У зв'язку з тим, що збільшується дефіцит високолегованих інструментальних матеріалів, жароміцних сплавів і нержавіючих сталей, роль хіміко-термічної обробки буде з кожним роком зростати. Значний вклад в розвиток та удосконалення теорії та практики ХТО внесли О.М. Мінкевич, М.С. Горбунов, І.М. Спірідонова, Б.М. Арзамасов, Л.В. Ворошнин та ін. Однак, ХТО має певні недоліки, а саме: недостатня глибина легованого (дифузійного) шару та висока енергоємність процесу

насичення. Аналіз робіт, направлених на підвищення продуктивності процесів ХТО, свідчить про те, що поряд з традиційними дослідженнями в цій галузі ведеться пошук у напрямі інтенсифікації дифузійних процесів за рахунок попередніх способів обробки (ультразвук, термомеханічна обробка, об'ємна пластична деформація).

Завдяки дослідженням А.А. Дерибаса, В.М. Ковалевського, Р.В. Піхтовнікова, В.Г. Петушкова, В.К. Борисевича, Р.П. Дідика, Л.Є. Мурра, М.А. Мейерса та ін. за допомогою вибуху виконуються операції формоутворення, зварювання, різання, зміцнення металів та ін. Проте, поряд з цим, відсутні наукові дослідження і розробки в області оцінки впливу ударно-хвильової обробки на металеві матеріали для стимулювання і активації дифузійних процесів при насиченні конструкційних сталей легуючими елементами, що не дозволяє цілеспрямовано використовувати ударно-хвильове навантаження у сукупності з традиційними способами хіміко-термічної обробки з метою підвищення ресурсу роботи деталей з конструкційних сталей.

Тому, наукові дослідження, які спрямовані на підвищення ефективності хіміко-термічної обробки за рахунок зростання глибини легованого шару, зниження енергоємності процесу насичення, підвищення якості виробів за допомогою ударно-хвильової обробки є важливими і актуальними.

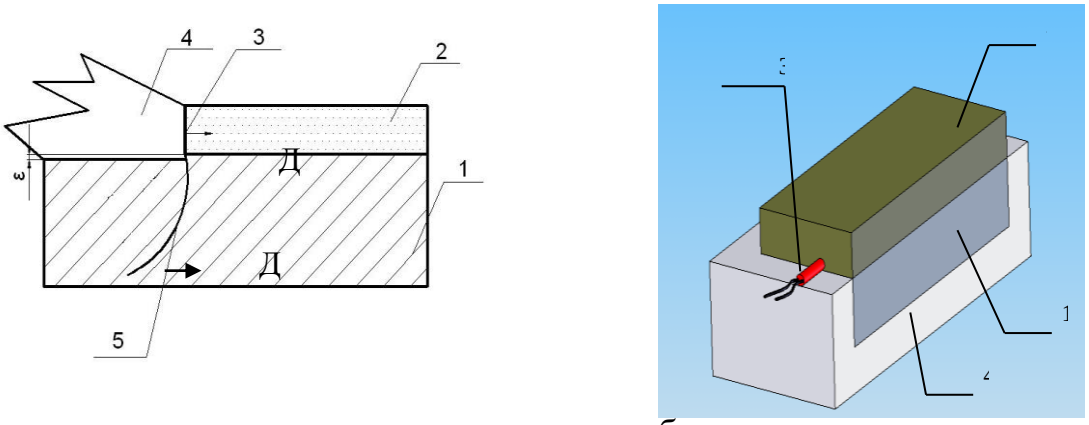
Основною метою роботи є дослідження закономірностей впливу ударно-хвильового навантаження та подальшого азотування на параметри дифузійної зони насичення, фазовий склад, комплекс механічних та експлуатаційних властивостей конструкційних сталей.

Для вибору параметрів ударно-хвильового навантаження були проведені дослідження особливостей навантаження на структуру та властивості конструкційних сталей. Високоенергетична обробка металевих пластин з легованої сталі 38ХМЮА розмірами 20х70х200 мм проводилась в спеціальній камері. Зразки розміщувались на спеціальній основі, для запобігання деформації спотворення (рис. 1).

Параметри ударно-хвильового навантаження відповідно до умов їх здійснення складають: тиск – 35…40 кбар при використанні вибухової речовини з дрібнодисперсного порошку аміачно-селітрового складу зі швидкістю детонації 2500…3000 м/с при істотній щільності $\rho_0$=0,9 г/см$^3$. Параметри легованого шару в сталі 38ХМЮА досліджувались відповідно при дії імпульсу навантаження (І), який складав 200, 330 та 400 Н·с, що відповідало значенням залишкової деформації зразків (ε) 1,2, 1,8, 2,2% відповідно. Дослідження показали незначне підвищення характеристик міцності конструкційних сталей, в середньому, на 25…30%.

Загальний характер утворення та структура азотованого шару на всіх зразках однаковий. Проте, максимальне значення глибини легованого шару спостерігається на сталі 38ХМЮА, що попередньо оброблена вибуховим навантаженням з інтенсивністю 400 Н·с. Загальний характер зміни глибини дифузійного шару при всіх значеннях імпульсу однаковий. Найбільше значення глибини азотованого шару було отримано на сталі 38ХМЮА, яке склало 0,58 мм при інтенсивності ударно-хвильового навантаження 400 Н·с, що приблизно в 1,5…1,8 рази більше, ніж без використання попереднього ударно-хвильового навантаження. Найменше значення глибини легованого шару 0,42 мм отримано при інтенсивності 200 Н·с. Крім того, встановлено, що при інтенсивності ударної хвилі $I$ = 400 Н·с та наступному азотуванні сталі

38ХМЮА різко зростає значення мікротвердості приблизно в 1,5 рази у порівнянні з азотованим шаром, що отриманий без використання попереднього ударно-хвильового навантаження.




а б

**Рис. 1. Схема ударно-хвильового навантаження металевої пластини «косою» ударною хвилею: а – схема розвитку детонаційного та ударно-хвильового фронту в металевій перешкоді: 1 – металева пластина; 2 – заряд вибухової речовини; 3 – фронт детонації; 4 – область розльоту продуктів детонації; 5 – фронт ударної хвилі; б – монтажна схема: 1 – металева пластина; 2 – заряд вибухової речовини; 3 – точка ініціювання заряду вибухової речовини; 4 – свинцевий контейнер – «імпульсна пастка»**

*Джерело: розробка автора*

Дослідження зносостійкості поверхні показали, що попереднє ударно-хвильове навантаження сприяє не тільки збільшенню товщини легованого шару, а також підвищенню зносостійкості поверхні.

Робота вузлів тертя ресурсовизначних деталей машин біла досліджена за допомогою набору моделей (роликів та колодок), що навантажувались по схемі «колодка-ролік». Тип та розмір зразків представлено на рис. 2.

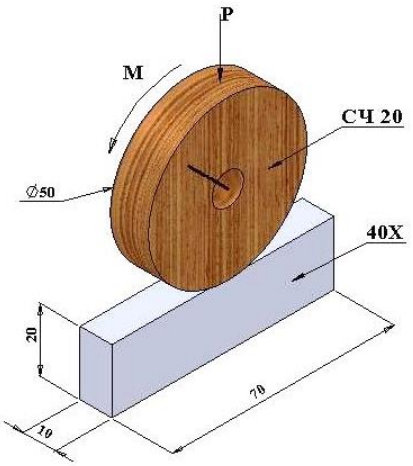



**Рис. 2. Схема испытания ролик-колодка**

*Джерело: розробка автора*

Результати порівняльних досліджень показані на рис. 3

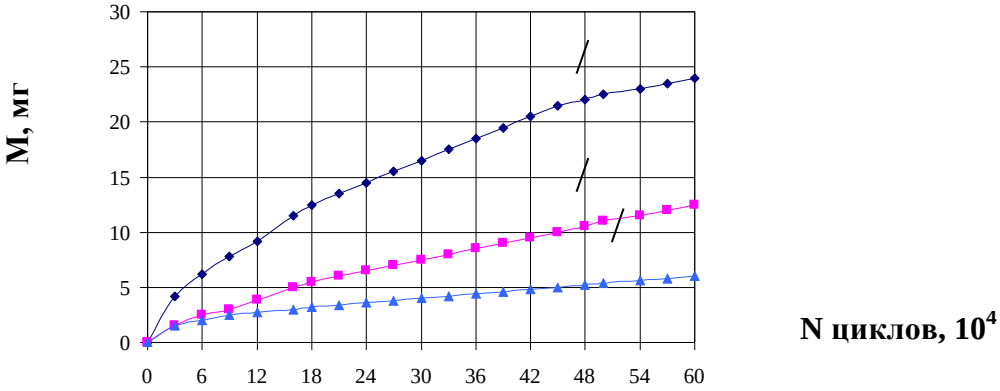



**Рис. 2. Порівняльні характеристики показника зношування для різних способів обробки зразків зі сталі: 1 – базовий зразок; 2 – борування по традиційній технології; 3 – інноваційна технологія**

*Источник: разработано автором*

Порівняльні дослідження показали підвищення зносостійкості у попередньо оброблених ударною хвилею зразків на 40 – 50% в порівнянні з традиційною технологією азотування.

Отримані результати дозволили зробити висновок, що з урахуванням збільшення товщини легованого шару її ресурс можна збільшити в 2 та більше раз.

Результати досліджень, що пов'язані з підвищенням продуктивності процесу азотування свідчать про ефективність попередньої високоенергетичної обробки для стимулювання дифузійних процесів ХТО. Встановлено, що використання попереднього ударно-хвильового навантаження сприяє зниженню енергоємності процесу азотування (табл. 1).

Таблиця 1

**Результати промислових випробувань**

| Технологія обробки | Оброблюваний матеріал | товщина дифузійного шару, мм | |
|---|---|---|---|
| | | Час обробки 28 годин | Час обробки 15 годин |
| заводська технологія азотування | 38ХМЮА | 0,4 | 0,25 |
| розроблена технологія азотування | 38ХМЮА | 0,84 | 0,4 |

За результатами проведених експериментальних досліджень встановлено, що попереднє ударно-хвильове навантаження дозволяє збільшити товщину азотованого шару в 1,5…2 рази, що в свою чергу сприяє збільшенню ресурсу роботи виробу. Ці дані захищені патентами України № № 7803, 27961, 83769.

Комплексна хіміко-термічна обробка дозволяє підвищити продуктивність процесу хіміко-термічної обробки в 2…2,5 рази за рахунок скорочення часу насичення, а також знизити енергоємність процесу на 25…30%.

**Список використаних джерел:**

1. Демченко Л. Д. Влияние предварительной пластической деформации на структуру и свойства азотированных слоев в Fe / Л. Д. Демченко, В. М. Надутов, Ю. С. Черепова // ОТТОМ-4. К. – 2003. – С. 205-209.
2. Дидык Р. П. Влияние предварительной ударно-волновой обработки на параметры борирования низколегированной стали / Р. П. Дидык, В. А. Безрукавая, Л. В. Грязнова, А. Г. Лисняк // Металлофизика и новейшие технологии. – 2008. – Т.30, № 9. – С. 1289-1295.
3. Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов / Под ред. Мейерса М. А., Мурра Л. Е.: Пер. с англ. М.: Металлургия, 1984. – 512 с.

**Леонтьєва Н.Р.**

*кандидат фізико-математичних наук, викладач,*
*Буковинський фінансово-економічний університет*

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННОГО СПЕКТРА СКЛАДНОЇ НАНОТРУБКИ

Напівпровідникові квантові дроти вивчаються як теоретично, так і експериментально вже протягом 20 років. Удосконалення методів їх вирощування дало змогу вченим формувати ансамблі квантових нанодротів з радіальною гетреоструктурою. У залежності від геометричних параметрів внутрішньої дротини перпендикулярна до осі квантового дроту гетероструктура, дозволяє цілеспрямовано змінювати спектральні параметри основних квазічастинок (електронів, екситонів, фононів) у наносистемі.

В залежності від властивостей квазічастинок, такі системи можуть використовуватися в якості базових елементів тунельних нанодіодів, нанотранзисторів з високою рухливістю електронів, високоефективних світловипромінюючих приладів, фотоелектричних перетворювачів, наносенсорів для діагностики різних біологічних і хімічних з'єднань [1].

На даний час інтенсивно досліджуються напівпровідникові нанотрубки, що є різновидом квантових дротів з радіальною гетероструктурою. Так, у залежності від напівпровідникових матеріалів, що входять до складу гетероструктури, експериментаторами вже створені прості (з однією квантовою ямою для електрона) [2] та складні (багатоямні) кількашарові [3] шестигранні нанотрубки.

Метою даної роботи є розробка програмних продуктів за допомогою C++ та Wolfram Mathematica 7.0 та оцінка точності у вимірюваннях енергетичного спектра електрона за допомогою цих програм.

Теорія енергетичного спектра та хвильових функцій електрона, що використовується для створення програмних продуктів, розроблена для складної нанотрубки, що подана на рис. 1. [4]