

Інтенсифікація процесу азотування конструкційних сталей

В. А. Козечко¹⁾

¹⁾ ДВНЗ «Національний гірничий університет», пр. Карла Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, Україна, 49600

Article info:

Paper received:

The final version of the paper received:

Paper accepted online:

01 April 2015

08 May 2015

05 November 2015

Correspondent Author's Address:

¹⁾ kozechko@list.ru

Робота спрямована на визначення параметрів попередньої ударно-хвильової обробки з метою інтенсифікації процесів хіміко-термічної обробки, встановленню взаємних зв'язків між глибиною легованого шару та інтенсивністю попередньої ударно-хвильової обробки, а також для підвищення ресурсу деталей із конструкційних сталей. У результаті досліджень установлено, що попереднє ударно-хвильове навантаження сприяє підвищенню твердості, зносостійкості та глибини азотованого шару. Промислові випробування азотованих зразків показали, що попереднє ударно-хвильове навантаження дозволяє скоротити час азотування приблизно в 2 рази без втрати якості та механічних властивостей азотованого шару.

Ключові слова: азотування, ударно-хвильова обробка, інтенсифікація дифузійних процесів, продуктивність процесу хіміко-термічної обробки.

1. ВСТУП

Розширення попиту на машинобудівну продукцію і послуги в умовах сучасного ринку вимагають від виробників збільшення ресурсу роботи виробів та підвищення їх надійності. На сьогодні 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 внесок у розвиток та удосконалення теорії та практики зробили О. М. Мінкевич, М. С. Горбунов, І. М. Спиридонова, Б. М. Арзамасов, Л. В. Ворошнин та ін. Однак мають певні недоліки, а саме: недостатню глибину легованого (дифузійного) шару та високу енергоємність процесу насичення. Аналіз праць, спрямованих на підвищення продуктивності процесів, свідчить про те, що поряд із традиційними дослідженнями у цій галузі проводиться пошук у напрямку інтенсифікації дифузійних процесів за рахунок попередніх способів обробки (ультразвук, термомеханічна обробка, об'ємна пластична деформація).

Завдяки дослідженням А. А. Дерibasа, 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 тощо. Проте, поряд з цим,

відсутні наукові дослідження і розробки у сфері оцінювання впливу ударно-хвильової обробки на металеві матеріали для стимулювання та 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, що 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 та 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 із легованої сталі 38ХМЮА розмірами 20х70х200 мм проводилася в спеціальній камері. Зразки розміщували у свинцевому контейнері, що був установлений на подушці з мокрого піску, для запобігання деформації спотворення [1]. Схема розкритою пластин для металографічних досліджень наведена на рис. 1.

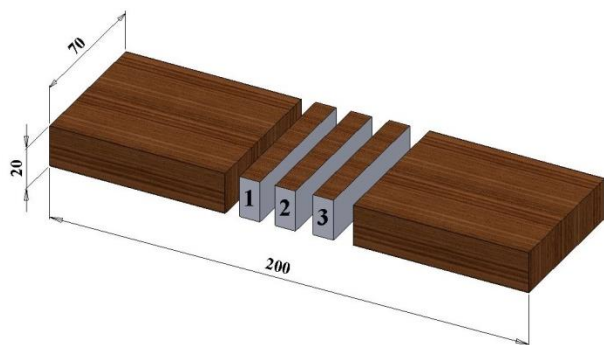


Рис. 1. Схема розкрою пластин із конструкційних сталей після ударно-хвильового навантаження для металографічних та трибологічних досліджень

Параметри ударно-хвильового навантаження відповідно до умов їх здійснення становлять: тиск – 35–40 кбар під час використання вибухової речовини з дрібнодисперсного порошку аміачно-селітрового складу зі швидкістю детонації 2500–3000 м/с при істотній густині $\rho_0 = 0,9 \text{ г/см}^3$. Параметри легованого шару в сталі 38ХМЮА досліджувалися відповідно при дії імпульсу навантаження (I), який становив 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, у середньому на 25–30 %.

Мікроструктурні дослідження проводилися за допомогою світлового мікроскопа (Neophot-22), електронного растрового мікроскопа (РЕМ), а також комп'ютерного забезпечення для аналізу фотознімків. Рентгеновські дослідження здійснювалися на дифрактометрі ДРОН-3М з приставкою для комп'ютерної обробки результатів. Локальний рентгеноспектральний мікроаналіз здійснювали за допомогою мікроаналізатора РЕМА-102. Мікротвердість одержаних шарів визначали на приладі ПМТ-3 за ГОСТ 9450. Визначення комплексу експлуатаційних властивостей проводили за допомогою стандартних методів механічних випробувань на зносостійкість за ГОСТ 23.224 під час використання машини тертя СМ-2.

За результатами металографічних досліджень металевих зразків із конструкційних сталей було встановлено, що при вибраній схемі ударно-хвильового навантаження структура характеризується значним зростанням смуг ковзання, та з'являються двійники як наслідок інтенсивної пластичної деформації під дією ударних хвиль.

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 отримане на сталі 38ХМЮА, яке становило 0,58 мм при інтенсивності ударно-хвильового навантаження 400 Н·с, що приблизно в 1,5–1,8 раза більше, ніж без використання попереднього ударно-хвильового навантаження. Найменше значення глибини легованого шару 0,42 мм одержане за інтенсивністю 200 Н·с (рис. 2).

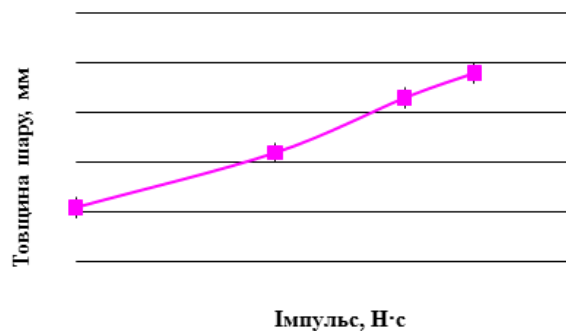


Рис. 2. Графік залежності товщини дифузійного шару від інтенсивності попередньої ударно-хвильової обробки

Крім того, встановлено, що при інтенсивності ударної хвилі $I = 400 \text{ Н·с}$ та наступному азотуванні сталі 38ХМЮА різко зростає значення мікротвердості приблизно в 1,5 раза порівняно з азотованим шаром, що одержаний без використання попереднього ударно-хвильового навантаження (рис. 3).

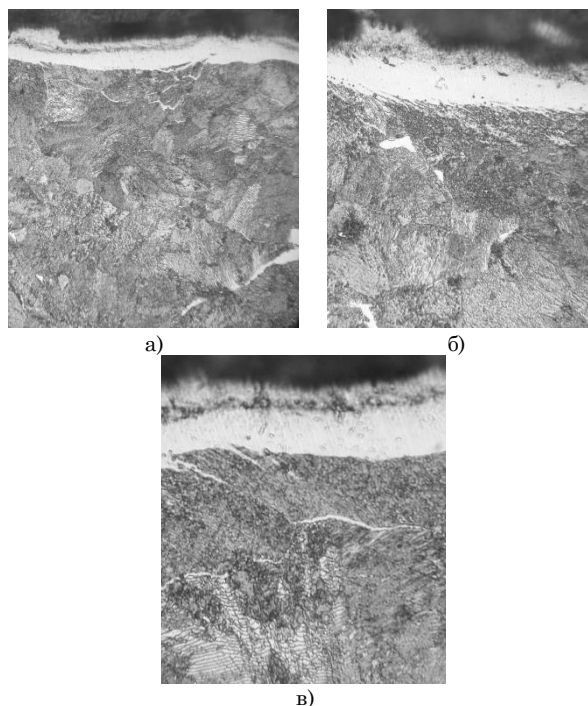


Рис. 3. Мікроструктура азотованого шару, що отриманий шляхом використання попередньої ударно-хвильової обробки різної інтенсивності, $\times 400$: а) $I = 200 \text{ Н·с}$; б) $I = 330 \text{ Н·с}$; в) $I = 400 \text{ Н·с}$

Рентгеноспектральний аналіз зразків з легованої сталі 38ХМЮА виявив слабкі дифракційні лінії ϵ -фази $\text{Fe}_{2-3}(\text{N})$, $\text{Fe}_{2-3}(\text{N},\text{C})$, а також лінії фаз, що складаються з нітридів та карбонітридів хрому CrN , $\text{Cr}(\text{N},\text{C})$. Легуючі елементи, такі як Cr , розчиняються у γ' -фазі та зменшують у ній вміст азоту. В результаті азотування на поверхні утворюються карбонітриди $\text{Cr}(\text{N},\text{C})$, $\text{Fe}_4(\text{N},\text{C})$, а також карбіди хрому Cr_7C_3 , що свідчить про інтенсивну дифузію вуглецю з основи до поверхні та збагачення γ' -фази вуглецем. Після використання попереднього ударно-хвильового навантаження та подальшого азотування на дифрактограмах знайдено лінії γ' -фази $\text{Fe}_4(\text{N},\text{C})$ та Fe_4N , а також фаз, що складаються з карбонітридів Cr_2N , $\text{Cr}_2(\text{N},\text{C})$. Виявлені лінії оксидів $\text{Fe}(\text{Cr})_3\text{O}_4$.

Мікрорентгеноспектральний аналіз азотованих шарів зі сталі 38ХМЮА показав, що попереднє ударно-хвильове навантаження сприяє збільшенню кількості азоту в дифузійному шарі азотованих зразків (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати мікрорентгеноспектрального аналізу азотованих зразків зі сталі 38ХМЮА

Технологія азотування	Азотування за стандартною технологією		Азотування після попереднього ударно-хвильового навантаження	
	1 (на поверхні дифузійного шару)	2 (ближче до основного металу)	1 (на поверхні дифузійного шару)	2 (ближче до основного металу)
Спектр (місце визначення)				
N, мас.%	22,48	19,54	24,7	21,8

Це може свідчити про збільшення кількості нітридної фази в одержаному дифузійному шарі, що, в свою чергу, підвищує зносостійкість поверхні.

Порівняльні дослідження на зносостійкість азотованої сталі 38ХМЮА. У результаті дослідження встановлено, що попереднє ударно-хвильове навантаження сприяє не лише збільшенню товщини одержаного легованого шару, а й збільшенню зносостійкості поверхневого шару.

Дослідження проводили на машині тертя СМЦ-2 за схемою «колодка – ролик», що імітує умови роботи пари тертя.

Режим дослідження:

- припрацювання без навантаження – 15 хвилин;
- припрацювання при навантаженні 300 Н – 2 години;
- безпосереднє дослідження при навантаженні 600 Н – 4 години.

У процесі дослідження фіксувався момент сили тертя за допомогою потенціометра ПРС-1, що входить до комплекту машини. Зношування зразків обчислювали методом визначення втрати ваги за час дослідження. Зважування зразків проводилось аналітичними вагами ВЛА-200г-М з точністю до 0,0001 г. Використовувалось індустріальне масло И-Г-А-32.

Для виключення систематичної похибки при виконанні порівняльних досліджень на зносостійкість врахували таке:

- 1) технологія виготовлення зразків була однаковою;
- 2) усі виміри проводили на одних і тих самих аналітичних вагах;
- 3) усі дослідження проводили на одному й тому самому обладнанні за однаковою схемою;
- 4) зношування (М, мг) зразків одержаних під час досліджень за однакових умов (навантаження, вид тертя, температура і т. д).

Порівняльні дослідження показали збільшення зносостійкості у попередньо оброблених ударною хвилею зразків на 40–50 % порівняно з традиційною технологією азотування, що пов'язане зі збільшенням кількості нітридної фази та підвищенням твердості поверхні і, як наслідок, деталі у цілому (рис. 4).

Зіставлення результатів дослідження експлуатаційних характеристик дозволило зробити висновок, що з урахуванням зростання товщини легованого шару сталі 38ХМЮА її ресурс може бути підвищений у 1,5 та більше разів.

На базі ПАТ «Дніпропетровський агрегатний завод» були проведені помислові випробування розробленого методу комбінованої хіміко-термічної обробки. Результати досліджень показали, що використання попереднього ударно-хвильового навантаження дозволяє знизити енергоємність процесу на 25–30% за рахунок скорочення часу насичення (приблизно у 2–2,5 раза) при значному збільшенні товщини дифузійного шару (рис. 2).

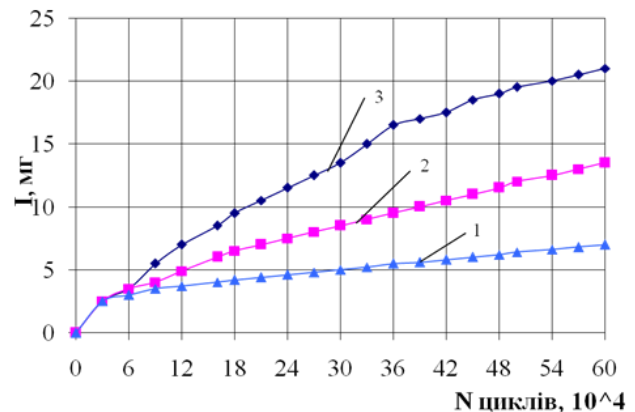


Рис. 4. Порівняльна характеристика показника зношування для різних способів обробки зразків зі сталі 38ХМЮА:

1 – базовий зразок; 2 – азотування за традиційною технологією; 3 – азотування після попереднього ударно-хвильового навантаження

Результати досліджень, що пов'язані з підвищенням продуктивності процесу азотування свідчать про ефективність попередньої високоенергетичної обробки для стимулювання дифузійних процесів ХТО. Установлено, що використання попереднього ударно-хвильового навантаження сприяє зниженню енергоємності процесу азотування (табл. 2).

Таблиця 2 – 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

ВИСНОВКИ

Установлено закономірності формування структури та параметрів азотованого шару конструкційної сталі 38ХМЮА залежно від інтенсивності деформації, що спричинено дією ударної хвилі, які дозволили визначити тип та розподіл структурних складових за глибиною від поверхні при використанні удосконаленої технології хіміко-термічної обробки. На основі даних рентгеноструктурного аналізу азотованого

шару, який одержано шляхом використання інноваційної технології хіміко-термічної обробки, встановлено збільшення кількості нітридної фази, що призводить до збільшення мікротвердості поверхневого шару в 1,4–1,8 раза.

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

Комплексна хіміко-термічна обробка дозволяє підвищити продуктивність процесу хіміко-термічної

обробки у 2–2,5 раза за рахунок скорочення часу насичення, а також знизити енергоємність процесу на 25–30 %.

За результатами проведених досліджень розроблені рекомендації щодо використання комплексної хіміко-термічної обробки конструкційних сталей з метою підвищення продуктивності процесу насичення, а також зниження енергоємності. Рекомендації було розглянуто на ПАТ «Дніпропетровський агрегатний завод», проведені промислові випробування розробленого методу та прийнято рішення до впровадження його на виробництві під час виготовлення деталей із конструкційних сталей.

Nitriding process intensification steel structures

V. A. Kozechko¹⁾

¹⁾ State Higher Educational Institution «National Mining University», 19, Karl Marx Pr., 49000, Dnepropetrovsk, Ukraine

The work is aimed at determining the parameters of the previous shock-wave treatment in order to intensify the processes of chemical and thermal processing, establishing mutual relations between the doped layer depth and intensity of the previous shock-wave treatment, and to improve the life of parts made of structural steel. The research resulted in determining of the optimum schemes of shock-wave load and treatment regimes. For the first time, the relations of the saturation zone parameters in the process of chemical and thermal treatment of steel and those characterising the intensity of plastic deformation were established. The experiment helped to define the link between the rate of the explosion impulse and the depth of the alloyed layer. It was proved that applying of the shock-wave treatment as a stimulating factor increased alloyed layer depth during saturation with nitrogen 1.5–2 times and strengthens superficial layer (microstrength) 1.4–1.8 times. As a result of studies found that pre-shock-wave loading improves hardness, durability and depth of the nitrided layer. Industrial tests nitrided samples showed that pre-shock-wave loading reduces the time nitriding about two times without loss of quality and mechanical properties of the nitrided layer.

Key words: nitriding, shock-wave treatment, intensification of diffusion processes, process performance thermochemical treatment.

Интенсификация процесса азотирования конструкционной стали

В. А. Козечко¹⁾

¹⁾ Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», пр. Карла Маркса, 19, г. Днепропетровск, Украина, 49600

Работа направлена на определение параметров предварительной ударно-волновой обработки с целью интенсификации процессов химико-термической обработки, установления взаимных связей между глубиной легированного слоя и интенсивностью предварительной ударно-волновой обработки, а также для повышения ресурса деталей из конструкционных сталей. В результате исследований установлено, что предварительное ударно-волновое нагружение способствует повышению твердости, износостойкости и глубины азотированного слоя. Промышленные испытания азотированных образцов показали, что предварительное ударно-волновое нагружение позволяет сократить время азотирования примерно в 2 раза без потери качества и механических свойств азотированного слоя.

Ключевые слова: азотирование, ударно-волновая обработка, интенсификация диффузных процессов, производительность процесса химико-термической обработки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дидык Р. П. Влияние предварительной ударно-волновой обработки на параметры низколегированной стали / Р. П. Дидык, В. А. Безрукавая, Л. В. Грязнова, А. Г. Лисняк // Металлофизика и новейшие технологии. – 2008. – № 9. – С. 1289–1295.

REFERENCES

1. Didyk R. P., Bezrukavaya V. A., Grjaznova L. V., Lisnjak A. G. (2008). Metallofizika i novejschie tehnologii. Vol. 9, P. 1289 – 1295. [in Russian].