

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ УДАРНЫХ ВОЛН

Козечко В.А.

Национальный горный университет

Работа направлена на определение параметров предварительной ударно-волновой обработки с целью интенсификации процессов химико-термической обработки; установлению взаимных связей между глубиной легированного слоя и интенсивностью предварительной ударно-волновой обработки, а также для повышения ресурса деталей из конструкционных сталей. Впервые экспериментально установлены закономерности изменения параметров зоны насыщения в процессе химико-термической обработки стали от интенсивности пластической деформации.

Ключевые слова: ударно-волновое нагружение, борирование, азотирование, диффузия, толщина легированного слоя, микротвердость, износостойкость, механические свойства.

Анализ работ, направленных на повышение производительности процессов химико-термической обработки, свидетельствует о том, что наряду с традиционными исследованиями в этой области ведется поиск в направлении интенсификации диффузионных процессов за счет предварительных способов обработки (ультразвук, термомеханическая обработка, объемная пластическая деформация) [1].

Впервые в работе проведены и представлены исследования влияния высокоэнергетических источников энергии на конструкционные стали с целью повышения производительности химико-термической обработки, что значительно расширяет потенциал и возможности альтернативных технологий [2]. Однако, наряду с этим, отсутствуют исследования и разработки в области исследования ударно-волнового воздействия на металлические материалы используемые для стимуляции и активизации диффузионных процессов при насыщении конструкционных сталей легирующими элементами.

Поэтому, исследования, направленные на повышение эффективности химико-термической обработки за счет роста глубины легированного слоя, снижение энергоемкости процесса насыщения, повышения ресурса изделий с помощью высокоэнергетической обработки является важными и актуальными.

Использование энергии высокой плотности, источниками которых является детонация конденсированных взрывчатых веществ, энергия высоковольтных разрядов в жидкости, магнитных полей высокого напряжения, мощных лазерных генераторов и плазмотронов которые способны создавать экстремальные параметры давления и температур, с высокой эффективностью используются в процессах металлообработки и создании новых материалов – следует рассматривать как одно из достижений науки и техники последних десятилетий [3].

В качестве модельного материала была выбрана, низколегированная сталь 40Х, в нормализованном состоянии, пластины из которой размерами 20x70x150 мм подвергались контактному взрыву зарядом аммонита 6ЖВ с начальными параметрами: $\rho \sim 1 \text{ г/см}^3$, $D \sim 4000 \text{ м/с}$, где ρ – начальная плотность заряда ВВ, D – скорость детонации. Толщина заряда задавалась равной соответственно 15, 25, 30 мм, что позволило регулировать величину взрывного импульса [5]. Используя условные равенства давления в направлении линии тока для продуктов взрыва и металла на границе их раздела, путем наложения ударных поляр, определена зависимость величины давления от угла встречи детонационной волны с поверхностью стали [6]. Значение давления $P \sim 3,5 \text{ ГПа}$ на границе – «ВВ-металл» определено

для фиксированного угла падения детонационного фронта равного $\beta = 90^\circ$. Для предотвращения действия волн разгрузки пластины размещали в свинцовом контейнере (рис. 1).

Для выбора параметров ударно-волновой обработки были проведены исследования особенностей нагрузки на структуру и свойства конструкционных сталей. Как показали исследования [4] главной особенностью воздействия ударной обработки на металл является волновой кратковременный характер распространения нагрузки, что приводит к изотропной укреплению за счет фазовых превращений, повышению плотности дислокаций, значительному искажению и измельчению зерен, перераспределению остаточных напряжений, что, как следствие, приводит к росту механических свойств. Все эти преобразования в металлических сплавах происходят в условиях действия «сильных» ударных волн с давлением на фронте порядка 130 и более кбар.

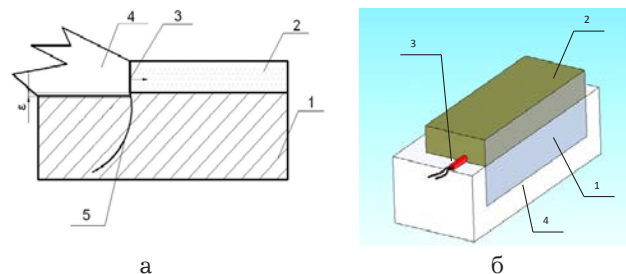


Рис. 1. Схема ударно-волнового нагружения металлической пластины «косой» ударной волной:
а – схема развития детонационного и ударно-волнового фронта в металлической преграде: 1 – металлическая поверхность, 2 – заряд взрывчатого вещества 3 – фронт детонации 4 – область разлета продуктов детонации; 5 – фронт ударной волны, б – монтажная схема: 1 – металлическая пластина, 2 – заряд взрывчатого вещества 3 – точка инициирования заряда ВВ 4 – свинцовый контейнер – «импульсная ловушка»

Источник: разработка автора

Параметры ударно-волнового нагружения соответственно к условиям их осуществления составляют: давление – 35 ... 40 кбар при использовании взрывчатого вещества из мелкодисперсного порошка аммиачно-селитрового состава со скоростью детонации 2500... 3000 м/с при существенной плотности $\rho_0 = 0,9 \text{ г/см}^3$.

Металлографические исследования металлических образцов показали, что при выбранной схеме ударно-волнового нагружения структура характеризуется значительным ростом полос скольжения

и появляются двойники, как следствие интенсивной пластической деформации под действием ударных волн (рис. 2).

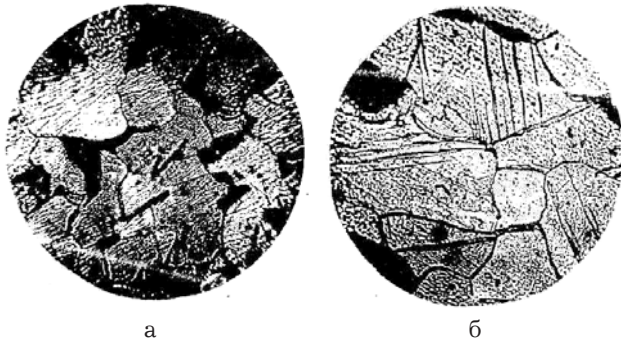


Рис. 2. Структура стали 55 после взрывной обработки при разных положениях фронта детонации, $\times 600$: а – исходное состояние; б – обработка при $\beta = 90^\circ$

Источник: разработка автора

Образцы из низколегированной стали 40X подвергались ударно-волновой нагрузке по выбранной схеме с разной интенсивностью деформации. После этого предварительно обработанные ударной волной и необработанные образцы одновременно загружались в печь, где происходило борирование.

Анализ результатов металлографических исследований обработанных образцов показал, что при борировании в глубину металла прорастают иглообразные кристаллы бора. С увеличением интенсивности деформации наблюдается постепенное слияние этих кристаллов в сплошной слой (рис. 3). Кроме того установлено, что толщина диффузионного слоя зависит от интенсивности предварительной обработки, т.е. с глубиной легированного слоя увеличилась в 2 раза при значениях импульса 400 Н·с. Микроструктурные исследования борированных образцов показали, что от поверхности вглубь металла прорастают отдельные иглообразные кристаллы боридов FeB и Fe_2B . Постепенно эти кристаллы сливаются в сплошной слой. У образцов не подверженных предварительному УВН толщина диффузионного слоя составляет 0,4 мм. С повышением величины импульса глубина слоя возрастает и при $I=200$ Н·с достигает значения 0,5 мм. Максимальное значение 0,7 мм область насыщения достигает при величине деформации равной $\sim 2,2\%$, что соответствует величине импульса равного ~ 400 Н·с (рис. 2). Следует отметить, что в сравнении с исходным значением ($\epsilon=0\%$) толщина слоя при остаточной деформации $\epsilon=2,2\%$ возросла в 1,75 раза. Результаты приведены на рис. 4.

На рис. 5 приведены результаты микродюрметрического анализа, которые показали, что характер распределения микротвердости по глубине диффузионного слоя более однородный для всех образцов при различных значениях импульса: максимальное значение HV достигается на поверхности, а затем постепенно снижается от поверхности в глубину образца и достигает микротвердости сердцевины. Переход к сердцевине носит плавный характер. Установлено, что предварительное ударно-волновое нагружение приводит к увеличению микротвердости борированного слоя примерно в 1,5...1,8 раза.

Рентгеноструктурный анализ показал, что предварительное ударно-волновое нагружение приводит к образованию большого количества твердой фазы FeB , что в свою очередь способствует повышению микротвердости поверхностного слоя (рис. 6).

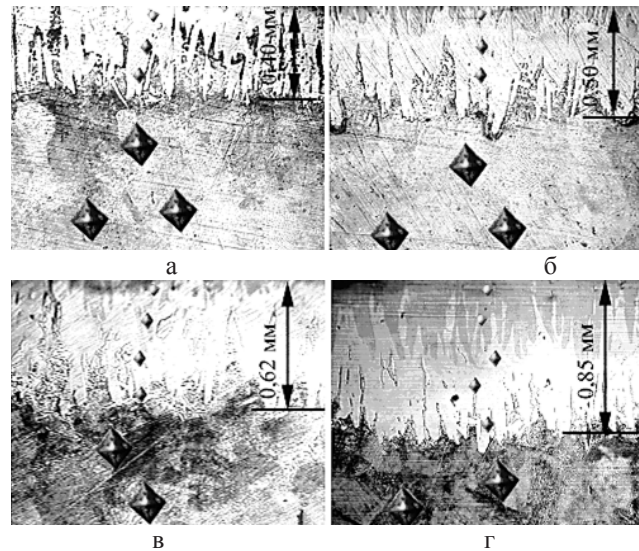


Рис. 3. Микроструктура стали 40X после борирования: а – исходное состояние; б – после предварительной ударно-волновой обработки (импульс $I = 200$ Н·с); в – импульс $I = 330$ Н·с; г – импульс $I = 400$ Н·с

Источник: разработка автора

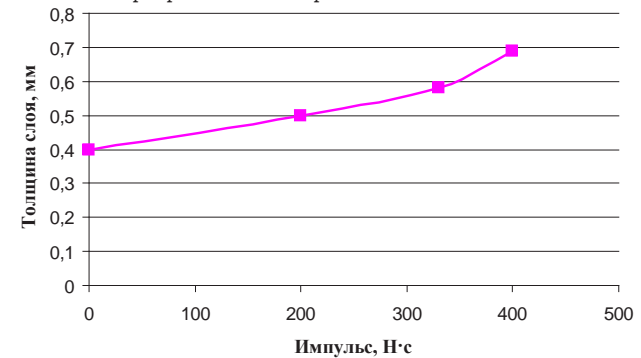


Рис. 4. Зависимость толщины борированного слоя от величины импульса

Источник: разработка автора

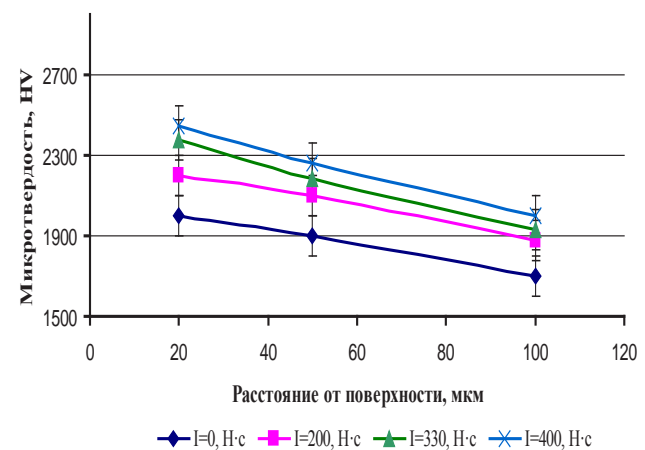


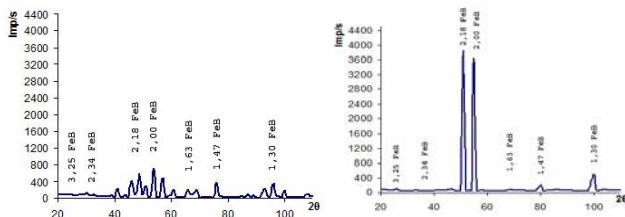
Рис. 5. Зависимость микротвердости борированных слоев от величины импульса

Источник: разработка автора

Экспериментальные исследования позволили установить закономерность изменения толщины легированного слоя в зависимости от параметров истинной деформации. По результатам исследований получена зависимость, которая аппроксимирована прямой (рис. 7) в виде следующего уравнения:

$$h = h_0 + \alpha \cdot h \frac{\Delta a}{a_0}$$

где Δa – абсолютная деформация;
 a_0 – толщина пластины;
 h_0 – исходное значение легированного слоя;
 α – тангенс угла наклона.



Борирование без использования предварительного нагружения
 Борирование после использования ударно-волнового нагружения (импульс 400 Н·с)

Рис. 6. Сравнение результатов рентгеноструктурного анализа борированных образцов обработанных по различной методике

Источник: разработка автора

Выводы. 1. Установлены закономерности формирования структуры и параметров борированного слоя низколегированной конструкционной стали 40Х в зависимости от интенсивности деформации, вызванной действием ударной волны, которые позволили определить тип и распределение структурных составляющих по глубине от поверхности при использовании усовершенствованной технологии химико-термической обработки.

Список литературы:

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.
4. Эпштейн Г.Н., Кайбышев О.А. Высокоскоростная деформация и структура металлов. – М.: Металлургия, 1971. – 196 с.

Козечко В.А.

Національний гірничий університет

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗА ДОПОМОГОЮ УДАРНИХ ХВИЛЬ

Анотація

Робота направлена на визначення параметрів попередньої ударно-хвильової обробки з метою інтенсифікації процесів хіміко-термічної обробки, встановленню взаємних зв'язків між глибиною легovanого шару та інтенсивністю попередньої ударно-хвильової обробки, а також для підвищення ресурсу деталей з конструкційних сталей. Вперше експериментально встановлені закономірності зміни параметрів зони насичення в процесі хіміко-термічної обробки сталі від інтенсивності пластичної деформації.

Ключові слова: ударно-хвильове навантаження, борування, азотування, дифузія, товщина легovanого шару, мікротвердість, зносостійкість, механічні властивості.

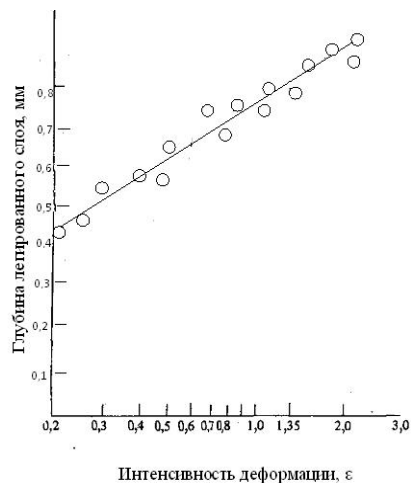


Рис. 7. Зависимость толщины легированного слоя от интенсивности деформации

Источник: разработка автора

2. На основе данных рентгеноструктурного анализа установлено увеличение количества твердой фазы FeB, что приводит к увеличению твердости поверхностного слоя.

3. Впервые установлено, что предварительное ударно-волновое нагружение способствует увеличению толщины легированного слоя в 1,5...2 раза, что в свою очередь повышает ресурс работы изделия.

Kozechko V.A.
National Mining University

INTENSIFICATION OF CHEMICAL AND THERMAL PROCESSING OF STRUCTURAL STEELS WITH SHOCK WAVES

Summary

The article is focused on the research of the impact of shock waves on the processes for intensification of chemical and thermal treatment, determination of correlation between the depth of alloyed layer and intensity of preparatory chemical and thermal treatment, as well as for enhancing the resource term of construction steel components. For the first time, the regularities of change of parameters of the saturation zone in the process of chemical and thermal treatment of steel under the influence of the intensity of plastic deformation were established experimentally.

Keywords: shock-wave load, boriding, nitriding, diffusion, alloyed layer thickness, microhardness, durability, mechanical properties.

УДК 620.18:621.746

ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ НА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ З ШИРОКИМ ІНТЕРВАЛОМ ЗАТВЕРДІННЯ

Селівьорстов В.Ю., Доценко Ю.В., Збінець А.В.
Національна металургійна академія України

Представлені результати досліджень структури металу виливка циліндричної форми із сталі Х12Ф1Л, що твердне в кокілі з використанням різних режимів газодинамічного впливу. Проведений аналіз кількісного співвідношення структурних складових досліджених зразків. Досліджені мікротвердість та хімічний склад складових сплавів при реалізації різних режимів впливу. Приведені результати механічних випробувань досліджуваних зразків сталі. Встановлений позитивний вплив вказаної активної дії на якість литого металу.

Ключові слова: газодинамічний вплив, вилівок, технологія, зразок, структура, фазовий склад, властивості.

Постановка проблеми. Регулювання в широких межах структури та властивостей литих металів за рахунок зміни режиму кристалізації можливе при використанні певних технологічних прийомів, які, в тому числі, реалізуються за допомогою активних фізичних методів впливу на процес кристалізації з метою поліпшення якості виливків, до яких, в свою чергу, можна віднести газодинамічний вплив.

Відомо, що для сплавів з широким інтервалом кристалізації характерна найбільш широка зона затвердіння. Під впливом тиску створюються умови для ущільнення металу в двофазній зоні, що на мікрорівні проявляється також в частковому обламуванні гілок дендритів, їх переміщуванні (мікропереміщування рідко-твердого сплаву) та недопущенні локалізації значних об'ємів рідини, що призводить у звичайному випадку до утворення шпаристості у виливку.

Отже, необхідний розвиток теоретичних основ впливу газодинамічної дії на процеси твердіння і структуроутворення, а так само й отримання науково обґрунтованих експериментальних результатів, що забезпечують розробку відповідних технологічних режимів. Рішення цієї проблеми має не тільки практичний, але й великий науковий інтерес.

Аналіз попередніх публікацій. Литво, отримане за традиційними технологіями гравітаційної заливки та твердіння під силовим впливом гравітації, має цілий ряд дефектів: крупний розмір зерен; різні неупорядковані структурні зони з направленим і дезорієнтованим розташуванням кристалів; хімічний склад, що змінюється по перетину і висоті злитка або виливка; наявність фізичної неоднорідності у вигляді усадкових раковин, шпаристості та інших дефектів.

Результати попередніх теоретичних та експериментальних досліджень показали, що розроблена на кафедрі ливарного виробництва НМетАУ технологія газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі [1, 2] дозволяє поліпшувати якість литого металу при різних способах лиття без застосування складного спеціального обладнання, і може бути з легкістю вбудованою в діючий технологічний процес [3, 4]. Проте, для визначення ефективності газодинамічного впливу на твердіючий розплав необхідно не тільки теоретичне обґрунтування можливості та механізму здійснення газодинамічного впливу на процес кристалізації металу в ливарній формі, але й дослідження впливу регульованого газового тиску на структуроутворення та фізико-механічні властивості литого металу при виробництві виливків із сплавів з різним інтервалом кристалізації, температурою плавлення, теплофізичними властивостями та ін. Зокрема результати експериментальних досліджень газодинамічного впливу на кристалізацію вуглецевої сталі [5, 6] показали перспективність проведення подальшої роботи в цьому напрямку.

Ціль досліджень – визначення фазового складу та механічних властивостей металу циліндричного виливка із сталі Х12Ф1Л, що тверднув у неохолоджуваному кокілі при застосуванні різних режимів газодинамічного впливу в порівнянні з литим металом, отриманим за традиційною технологією.

Основний матеріал. Промислові випробування розробленої технології проводили в умовах ливарних цехів АТ «Дніпропетровський агрегатний завод» та ЗАТ «Горизонт» (м. Дніпропетровськ). Плавку сталі марки Х12Ф1Л проводили в індукційній печі