

УДК 621.793

Канд. техн. наук О. Г. Чернета¹, д-р техн. наук Л. И. Ивченко²,
И. Н. Поддубный¹, А. М. Нестеренко³, д-р техн. наук А. Н. Коробочка¹

¹ Днепродзержинский государственный технический университет

² Запорожский национальный технический университет

³ Институт черной металлургии НАН Украины, г. Днепропетровск

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ КОМБИНИРОВАННОГО УПРОЧНЕНИЯ

Разработана комбинированная технология упрочнения жаропрочных сталей путем азотирования с последующей закалкой токами высокой частоты, охлаждением на воздухе и низкотемпературного отпуска.

Ключевые слова: жаропрочная сталь, микроструктура, микротвердость, испытание.

Введение

Одним из перспективных научных направлений является повышение ресурса работы деталей автомобилей, в частности, двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Среди деталей цилиндропоршневой группы бензиновых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) наибольшему термическому воздействию подвергаются выпускные клапаны. Выпускные клапаны изготавливают из жаропрочных и коррозионноустойчивых сплавов: 45X14H14B2M, ЭП-322, ЭП-303 (55X20Г9АН) [1].

Методика исследований

Для исследований выбраны стали мартенситного класса 40X10C2M и аустенитного класса – ЭП-303 (55X20Г9АН4) и ЭП-332 [2].

Для упрочняющей обработки исследованных образцов из жаропрочных сталей использовали комбинированную технологию термической обработки, которая включала азотирование, последующий нагрев токами высокой частоты, охлаждение на воздухе и низкотемпературный отпуск.

Азотирование образцов проводили в промышленной печи азотации шахтного типа на ОАО «Азот» (г. Днепродзержинск). Процесс азотирования осуществлялся путем выдержки образцов в течение 96 часов при температуре 520 °С в атмосфере частично диссоциированного аммиака. Избыточное давление газообразного аммиака поддерживали на уровне 0,3 МПа. Степень диссоциации аммиака в первые 10 часов составляла 23–30 %, а в остальное время – 70 %.

Затем образцы подвергались нагреву до температуры 1130 – 1180 °С токами высокой частоты (ТВЧ) на высокочастотном генераторе модели ВЧГ 8.60 / 0,44 (ТУ 16 – 530.239 – 78) и последующему охлаждению на воздухе. Отпуск образцов проводили в печи в течение 3 часов при температуре 400 °С [3].

Образцы для металлографического анализа заливали пастой «Протакрил» в специальные обоймы (рис. 1), а затем препарировали шлифовкой и полировкой по стандартной методике [4]. Травление полированных шлифов для выявления основной структуры осуществляли в стандартном травителе (реактив Ржешотарского – 4 % раствор HNO_3 в спирте – «ниталь» [4]).



Рис. 1. Микрошлиф для проведения исследования

Металлографический анализ полученных шлифов производили с помощью современного оптического микроскопа «Axiovert 200M MAT» (рис. 2) фирмы «Карл Цейсс» (Германия).



Рис. 2. Оптический микроскоп «Axiovert 200M MAT» фирмы «Карл Цейсс»

Рентгеновский фазовый анализ исследованных образцов проводили на дифрактометре ДРОН-2,0 в монохроматизированном $\text{CuK}\alpha$ -излучении.

Полученные результаты и их обсуждение

Микроструктура поверхностного слоя стали 40X10C2M до обработки представлена на рис. 3. Образец имеет феррито-карбидную структуру.



Рис. 3. Микроструктура образца из стали 40X10C2M до обработки

Данные проведенного рентгено-фазового анализа аустенитных сталей свидетельствуют о наличии в структуре материала исследованных образцов (ЭП-303 и ЭП-332) после обработки по указанным выше режимам трех фаз – феррита, аустенита и комплексного карбида Me_{23}C_6 , системные интерференции которых отчетливо выявляются на соответствующей дифрактограмме (рис. 4).

Согласно результатам микроструктурного анализа частицы карбида Me_{23}C_6 округлой и, час-

точно, продолговатой формы размером 1–12 мкм достаточно равномерно распределены по объему феррито-аустенитной матрицы сталей (рис. 5, б, в).

Аустенит, как составляющая структуры, имеет вид более светлых микроучастков с размытыми очертаниями, окруженных более темной по окраске ферритной фазой (рис. 5, б, в). Карбидная составляющая (Me_{23}C_6) из округлой и продолговатой по форме трансформируется в изогнутые нити или образования с отростками, распределяющимися по границам ферритных зерен (рис. 5, в).

Замеры микротвердости поверхностного слоя образцов жаропрочных сталей после термической обработки, произведенные на микротвердомере ПМТ-3 с нагрузкой 0,5 Н, показали следующие результаты (рис. 6). В поверхностном слое исследованных термообработанных образцов вдоль поверхности величина микротвердости $H_{\mu 0,5}$ каждого из них практически одинаковы и составляют: для стали 40X10C2M – 4694 МПа, для стали ЭП-332 – 4586 МПа, для стали ЭП-303 – 4035 МПа.

Таким образом величина микротвердости поверхностного слоя образцов из сталей 40X10C2M, ЭП-332, ЭП-303, обработанных с помощью комбинированного упрочнения увеличивается по сравнению с необработанным в 1,75; 1,7; 1,5 раза соответственно. Из этого следует, что предложенную комбинированную технологию упрочнения следует рекомендовать для применения при упрочнении жаростойких и жаропрочных сталей, используемых в машиностроении.

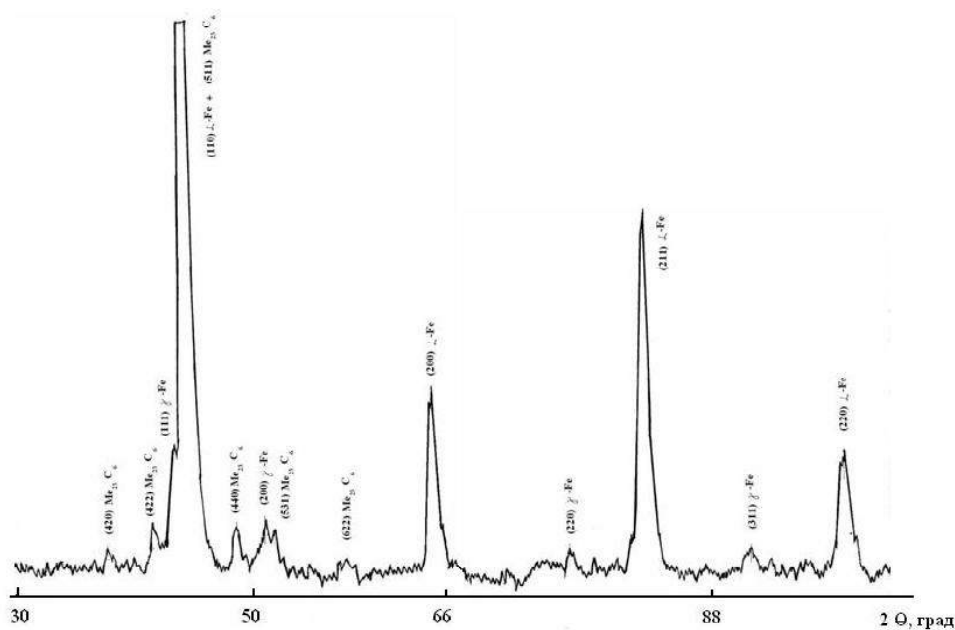


Рис. 4. Дифрактограмма поверхностного слоя стали ЭП-303 после азотирования с последующей обработкой ТВЧ

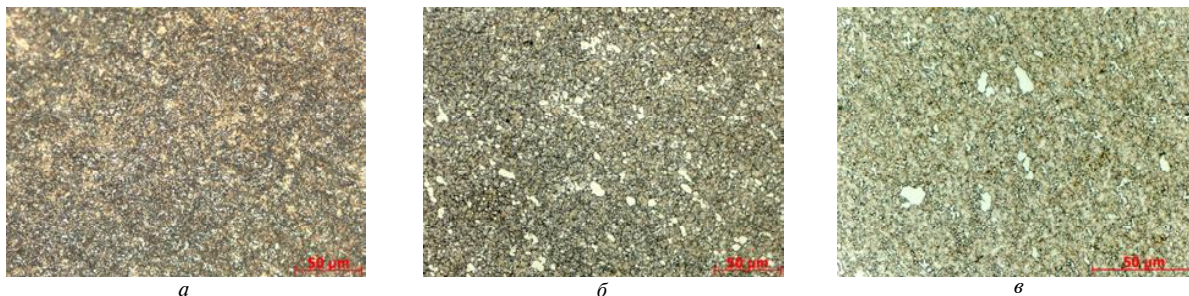


Рис. 5. Микроструктура образцов из жаропрочных сталей после азотирования с последующей закалкой ТВЧ:
a – 40X10C2M; *б* – ЭП-332; *в* – ЭП-303

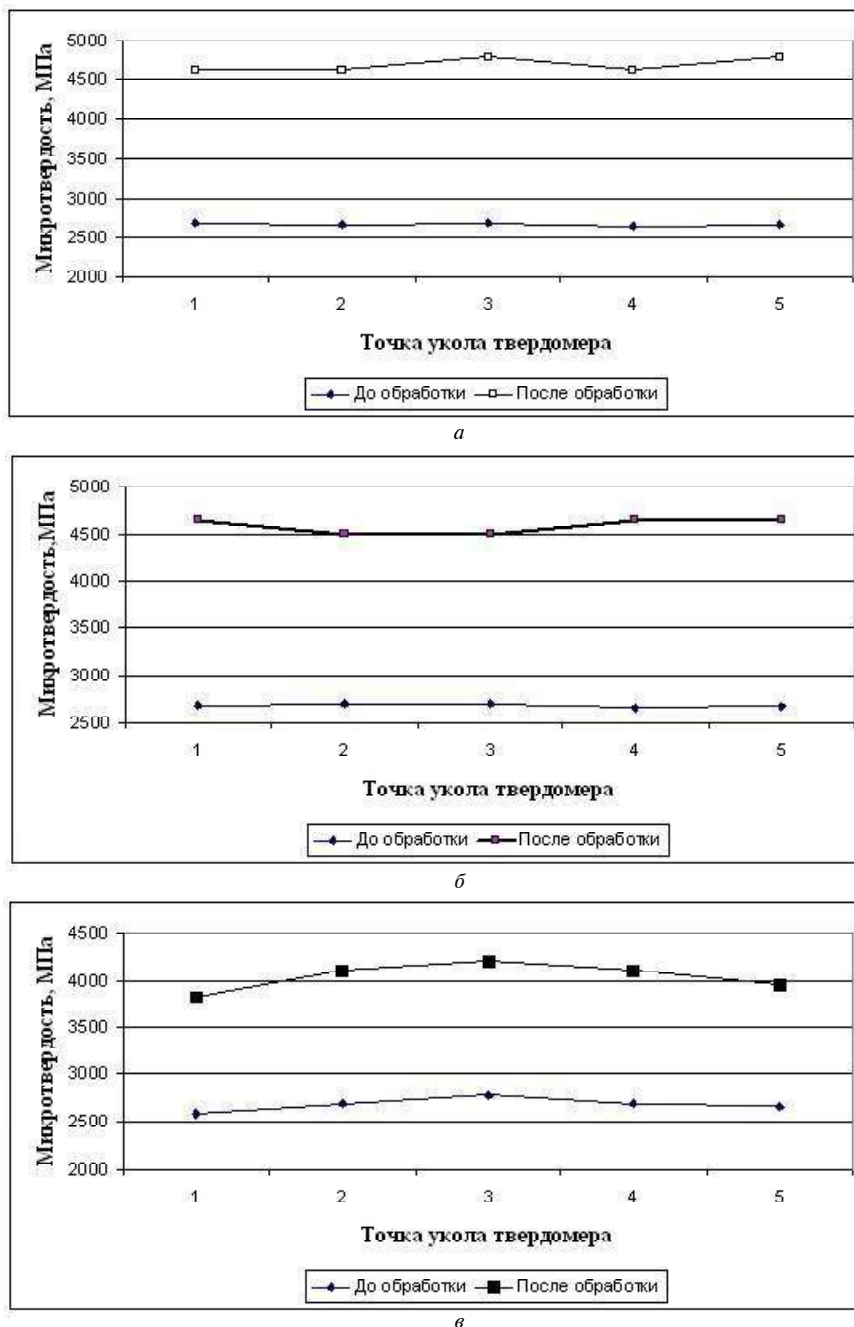


Рис. 6. Графики изменения микротвердости поверхностного слоя образцов из жаропрочных сталей после комбинированного упрочнения: *a* – 40X10C2M; *б* – ЭП-332; *в* – ЭП-303

Трибологические исследования образцов в дальнейшем будут проведены на машине трения, разработанной на кафедре «Автомобили и автомобильное хозяйство» Днепропетровского государственного технического университета [5].

Выводы

Установлено, что комбинированная термическая обработка образцов из стали 40Х10С2М, ЭП-332 и ЭП-303, включающая низкотемпературное газовое азотирование, последующий нагрев ТВЧ, охлаждение на воздухе и последующий низкотемпературный (400 °С) отпуск, приводит к формированию в поверхностном слое структур отпуска, обеспечивающих увеличение микротвердости $H_{\mu,0,5}$ поверхностной зоны этих образцов в 1,75; 1,7 и 1,5 раза соответственно.

Перечень ссылок

1. Мотовилин Г. В. и др. Автомобильные материалы : справочник. — [3-е изд., перераб. и доп.] / Г. В. Мотовилин, М. А. Масино, О. М. Суворов. — М. : Транспорт, 1989. — С. 94–97.
2. Марочник сталей и сплавов. — [2-е изд., доп. и испр.] / [А. С. Зубченко, М. М. Колосков, Ю. В. Каширский и др.] ; под общей ред. А. С. Зубченко. — М. : Машиностроение, 2003. — 784 с.
3. Седов Ю. Е. Справочник молодого термиста / Седов Ю. Е., Адаксин А. М. — М. : Высш. шк., 1986. — 239 с., ил.
4. Баранова Л. В. Металлографическое травление металлов : справочник / Баранова Л. В., Демкина Э. Л.. — М. : Metallurgia, 1986 — 256 с.
5. Пат. 43294 Україна, МПК⁸ G 23 M 15/00. Пристрій для випробування клапанів двигунів внутрішнього згорання / Піддубний І. М., Чернета О. Г., Коробочка О. М., Іщенко Л. Й., Кубіч В. І. ; заявник та патентовласник Дніпропетровський держ. техніч. універ. — № 200902605 ; заявл. 23.03.09 ; опубл. 10.08.09, Бюл. №15.

Поступила в редакцию 08.07.2010

Чернета О.Г., Іщенко Л.Й., Піддубний І.М., Нестеренко А.М., Коробочка О.М. Дослідження структури жароміцних сталей після комбінованого зміцнення

Розроблено комбіновану зміцнюючу технологію жароміцних сталей шляхом азотування з наступним гартуванням струмами високої частоти, охолодженням на повітрі та низькотемпературним відпусканням.

Ключові слова: жароміцна сталь, мікроструктура, микротвердість, випробування.

Cherneta O., Ivshenko L., Poddubniy I., Nesterenko A., Korobochka A. Research of structure heatproof staley after the combined work-hardening

The main result of the work is considered to combined technology of the treatment of the *heatproof steels* by nitriding with subsequent heating of high-frequency currents, quenching on the air and low temperature tempering.

Key words: *heatproof steel, microstructure, microhardness, test.*