

**ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЗАКАЛКИ НА МОРФОЛОГИЮ МАТРИЦЫ И ФАЗОВЫЙ
СОСТАВ СТАЛИ ФЕРРИТО-ПЕРЛИТНОГО КЛАССА**

Е.Е. Табиева¹, Н.А. Попова², Е.Л. Никоненко^{2,3},

Научный руководитель: доктор философии Г.К. Уазырханова¹

¹Восточно-Казахстанский Государственный технический университет им. Д.Серикбаева,

Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19, 070010

²Томский государственный архитектурно-строительный университет,

Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, 634003

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: natalya-popova-44@mail.ru

**SURFACE HARDENING EFFECT ON MATRIX MORPHOLOGY AND PHASE COMPOSITION OF
FERRITE PERLITE CLASS STEEL**

Y.Y. Tabiyeva¹, N.A. Popova², E.L. Nikonenko^{2,3}

Scientific Supervisor: Prof. Dr. G.K. Uazyrkhanova¹

¹D. Serikbayev East-Kazakhstan State Technical University, Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, Serikbayev str., 19, 070010

²Tomsk State University of Architecture and Building, Russia, Tomsk, Solyanaya Square, 2, 634003

³Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 3, 0634050

E-mail: natalya-popova-44@mail.ru

Abstract. *By the method of transmission diffraction electron microscopy on thin foils the study of changes in the morphology of the matrix and phase composition arising in ferrite-perlite steel of St2 grade at electrolyte-plasma surface hardening was conducted. It has been established that surface hardening leads to martensite transformation, "self-removal" and diffusion transformation with the extraction of $M_{23}C_6$ carbide particles.*

Введение. Известно, что для долговечности работы детали трущихся сочленений, которые зачастую испытывают большие ударные нагрузки, должны обладать высокой прочностью и твердостью поверхностного слоя в сочетании с достаточной пластичностью сердцевины. Достичь этого можно применением различных способов поверхностного упрочнения. Одним из таких способов является электролитно-плазменная поверхностная закалка [1]. Этот способ основан на пропускании электрического тока через электрическую цепь с анодом (закалочная ванна) и катодом (закаливаемая деталь) в растворе электролита. Целью настоящей работы является исследование закономерностей изменения структуры и фазового состава стали марки ст2 под действием электролитно-плазменной поверхностной закалки.

Материал и методы исследования. Объектом исследования явилась сталь феррито-перлитного класса марки ст2. Согласно ГОСТ 398-96 химический состав стали: (0.57-0.65)% C; (0.50-0.90)% Mn; (0.22-0.45)% Si; – не более 0.10% V; не более 0.030% S; не более 0.035% P.

Исследования выполнено методом просвечивающей дифракционной электронной микроскопии на тонких фольгах с помощью электронного микроскопа ЭМ-125 при ускоряющем напряжении 125 кВ.

Рабочее увеличение в колонне микроскопа выбиралось равным 25000 крат. Изучение ст2 проводилось в двух состояниях: 1) до закалки (исходное состояние) и 2) после закалки в приповерхностной зоне образца. Электролитно-плазменная поверхностная закалка проводилась в электролите: 10% карбамид $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ + 20% карбонат натрия Na_2CO_3 + 70% вода. Режим закалки: $T_{\text{max}} = 850\text{-}900^\circ\text{C}$; $U = 320\text{ V}$; $I = 40\text{ A}$, время обработки 4сек.

Полученные результаты. Установлено, что в исходном состоянии матрица всех сталей представляет α -фазу с ОЦК кристаллической решеткой. Морфологически α -фаза присутствует в виде пластинчатого перлита, объемная доля которого в матрице материала составляет 35%, и феррита (нефрагментированного – 10% и фрагментированного – 55%). Примеры электронно-микроскопических изображений морфологических составляющих α -фазы представлены на рис.1.

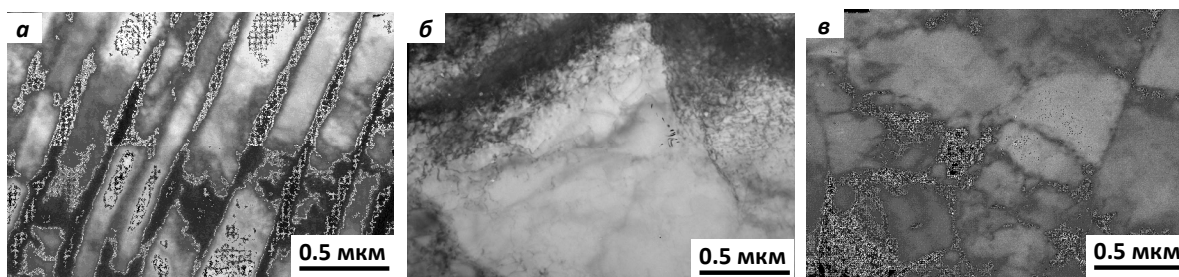


Рис.1. Типы морфологических составляющих в стали марки ст2 в исходном состоянии: а – пластинчатый перлит; б – нефрагментированный феррит; в – фрагментированный феррит

Поверхностная закалка стали привела к образованию пакетно-пластинчатого мартенсита. Пакетный (или речный) мартенсит (рис.2а) – это структурное образование, состоящее из набора практически параллельных кристаллов (реек), образующих пакет. Средний поперечный размер отдельной рейки в пакетах составляет 0.15 – 0.50 мкм. Объемная доля пакетного мартенсита составляет 60%, т.е. практически столько, сколько в исходном состоянии было фрагментированного феррита. По-видимому, формирование пакетного мартенсита происходило из фрагментированного феррита.

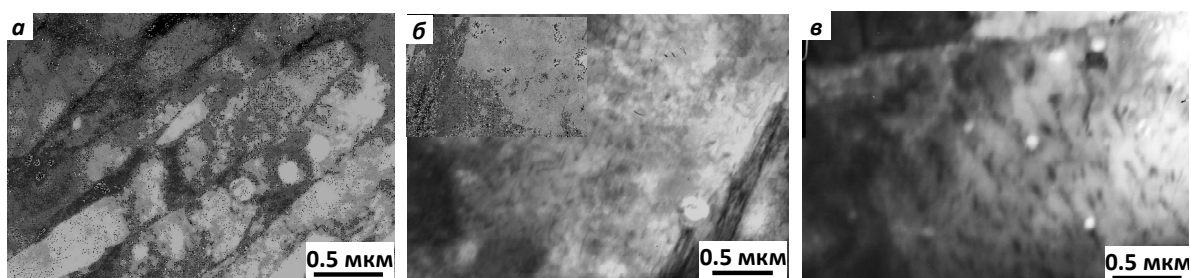


Рис.2. Типы морфологических составляющих в стали марки ст2 после поверхностной закалки: а – пакетный (речный) мартенсит; б – пластинчатый низкотемпературный мартенсит; в – пластинчатый высокотемпературный мартенсит

Пластинчатый низкотемпературный мартенсит (рис.1б) представляет собой достаточно крупные, либо отдельно расположенные, кристаллы мартенсита (пластины) с дислокационной структурой, либо параллельно расположенные две-три пластины. Объемная доля пластинчатого низкотемпературного мартенсита составляет 10%. Сравнение с исходным состоянием стали показывает, что пластинчатый

низкотемпературный мартенсит, вероятнее всего, сформировался из нефрагментированного феррита, объемная доля которого также составляла 10%.

Пластинчатый высокотемпературный мартенсит (рис.2в) – это крупные, отдельно расположенные кристаллы мартенсита (пластины), простирающиеся через все зерно, а также кристаллы произвольной формы, которые не имеют четкой огранки и у которых отсутствуют собственные границы раздела.

Проведенные исследования показали, что в ст2 после поверхностной закалки во всех кристаллах мартенсита присутствует остаточный аустенит (γ -фаза). В пакетном мартенсите γ -фаза присутствует на границах мартенситных реек в виде длинных тонких прослоек, в пластинчатом низкотемпературном мартенсите – в виде длинных тонких прослоек на границах пластин и внутри пластин в виде «игл», в пластинчатом высокотемпературном мартенсите – только внутри пластин в виде «игл», объединенных в колонии. Объемная доля γ -фазы в пакетном мартенсите составляет 6.5%, в пластинчатом низкотемпературном – 7.7%, в пластинчатом высокотемпературном – 8.5%. В процессе поверхностной закалки во всех кристаллах мартенсита образуются частицы цементита Fe_3C (мартенсит «самоотпуска») – это тонкие пластинки вытянутой формы, расположенные в двух и трех направлениях относительно оси мартенситного кристалла. Самые мелкие частицы цементита образуются в пакетном «самоотпущенном» мартенсите, самые крупные – в пластинчатом высокотемпературном. Объемная доля цементита в пакетном мартенсите составляет 0.27%, в пластинчатом низкотемпературном – 0.95%, в пластинчатом высокотемпературном – 2%. Таким образом, поверхностная закалка ст2 привела не только к мартенситному превращению, но и к «самоотпуску» стали. Проведенные исследования показали, что кроме цементита в структуре стали присутствуют также частицы карбидов специального типа $M_{23}C_6$. Эти карбиды обнаружены на границах мартенситных реек, а также внутри пластин низкотемпературного и высокотемпературного мартенсита. На основании проведенных исследований можно утверждать, что частицы карбида $M_{23}C_6$ выделяются из γ -фазы и поэтому присутствуют на границах мартенситных кристаллов и внутри пластинчатого мартенсита в тех участках, где присутствует γ -фаза в виде колоний. После поверхностной закалки обнаружены также частицы карбидов $M_{23}C_6$, не связанные с γ -фазой. Это частицы, обладающие округлой формой. Обнаружены они в пластинах высокотемпературного мартенсита на дислокациях α -фазы. Таким образом, можно утверждать, что выделение специальных карбидов фазы $M_{23}C_6$ обусловлено, во-первых, распадом остаточного аустенита и мартенсита, во-вторых, частичным растворением цементита и, в-третьих, уходом углерода с дислокаций и границ кристаллов α -фазы. То есть во всех случаях углерод из остаточного аустенита, α -твердого раствора, частиц цементита и дефектов кристаллической решетки идет на образование специальных карбидов.

Заключение. Проведенная поверхностная закалка ст2 в приповерхностной зоне образца привела: 1) к мартенситному превращению, 2) к «самоотпуску» стали и 3) к диффузионному $\gamma \rightarrow \alpha$ превращению с выделением частиц карбидов специального типа $M_{23}C_6$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гречнева М.В. Краткий анализ результатов работ в области плазменного поверхностного упрочнения сталей и сплавов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21, № 5. С. – 10 – 23.