

**СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЛИ 20X13, ОБРАБОТАННОЙ
ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ**

М.С Ямпольский¹, А.А. Клопов^{1,2}

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Ю.Ф. Иванов^{3,4}

¹ Томский государственный архитектурно-строительный университет,

Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, 634002

²Национальный исследовательский Томский государственный университет,

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

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

⁴ Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук,

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/3, 634055

E-mail: klopotovaa@tsuab.ru, yufi55@mail.ru

STRUCTURAL STEEL RESEARCH 20X13 TREATED WITH HIGH-INTENSITY PULSED ELECTRON BEAM

М.С Ямпольский¹, А.А. Klopotov^{1,2}

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Yu.F. Ivanov^{3,4}

¹ Tomsk state university of architecture and building, Russia, Tomsk, sg. Soluanaua, 2, 634002

² National research Tomsk state university, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30, 634050

³ National research Tomsk polytechnic university, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 36, 634050

⁴ Institute of High Current Electronics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,

Russia, Tomsk, Akademichesky Avenue, 2/3, 634055

E-mail: klopotovaa@tsuab.ru, yufi55@mail.ru

Abstract. *A thermodynamic analysis of phase transformations occurring during heat processing of the alloy composition of Fe-Cr-C, which is the basis of steel 20X13. The results of the analysis of the elemental and phase composition, the defect substructure, stainless steel, formed because of irradiation of high-intensity pulsed electron beam.*

Введение. Технологии, основанные на использовании концентрированных потоков энергии (лазерное излучение, потоки плазмы, электронные и мощные ионные пучки и т.д.), позволяют проводить финишную обработку детали или изделия локально, только в тех местах, которые непосредственно испытывают экстремальные нагрузки в процессе эксплуатации, что существенно снижает уровень финансовых и энергетических затрат изготовителя [1].

Целью работы являлся анализ результатов и выявление закономерностей преобразования фазового состава и дефектной субструктуры промышленной стали 20X13, подвергнутой облучению высокоинтенсивным импульсным электронным пучком субмиллисекундной длительности воздействия.

Материал и методика эксперимента. В качестве модифицируемого материала использована закаленная сталь 20X13 (Fe-0.2 C-13 Cr, вес.%). Образцы имели форму шайбы толщиной 10 мм и диамет-

ром 15 мм. Модифицирование поверхностного слоя стали осуществляли облучением образцов высокоинтенсивным импульсным электронным пучком на установке «СОЛО». Параметры облучения: энергия электронов 18 кэВ, плотность энергии пучка электронов 30 Дж/см², длительность и количество импульсов воздействия 50 мкс и 3 имп., частота следования импульсов 0,3 с⁻¹; облучение проводили в аргоне при остаточном давлении 0,02 Па. Данный режим обеспечивал нагрев поверхностного слоя толщиной ≈5 мкм до температуры плавления и закалку из расплава со скоростями (10⁶ – 10⁸) К/с.

Результаты исследований и их обсуждение. Основными элементами стали 20X13 являются Fe, Cr и C. В зависимости от режима термической обработки в данной тройной системе возможно образование частиц карбидной фазы состава M₃C, M₂₃C₆, M₇C₃, M₆C. Здесь M в химической формуле представляет собой сумму металлических элементов, образующих карбид. Например, (Cr, Fe)₂₃C₆, (Fe, Cr)₃C и другие. Диаграмма состояния в системе Fe-Cr-C (рис. 1) по сечению при постоянном значении концентрации углерода C = 0.1 вес. % (что близко по концентрации углерода к использованной в настоящей работе стали) теоретически получена в [2]. Представленные результаты позволяют определить области существования двухфазных и трехфазных сплавов. Анализ диаграммы показывает, что карбид M₂₃C₆ является более стабильным, чем карбиды M₇C₃ и M₃C, и имеет место существование более протяженных двухфазных областей.

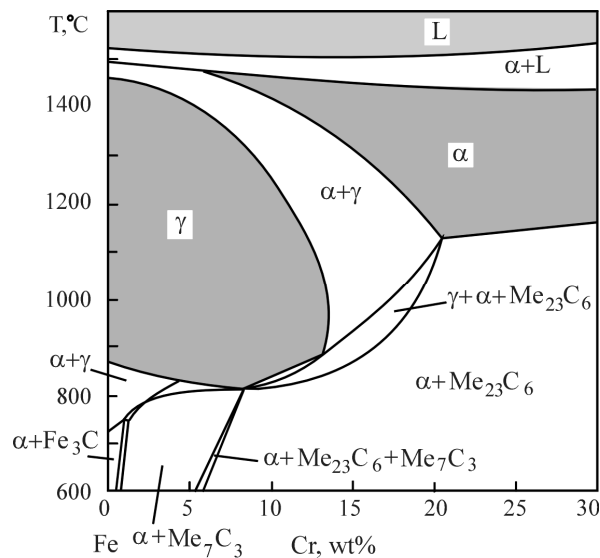


Рис. 1. Вычисленная диаграмма состояния в системе Fe-Cr-C по сечению при C = 0.1 вес. % [2].

Перед облучением сталь 20X13 подвергали аустенизации при температуре 950 °С, (3 часа) и последующей закалке в масло. Выявлено формирование поликристаллического агрегата, средний размер зерен которого 16,1 мкм. Аустенизация стали привела к формированию по границам и в стыках границ зерен частиц второй фазы, которые являются карбидами на основе хрома состава M₂₃C₆ (рис. 2, а). Частицы имеют округлую, реже, глобулярную форму. Размеры частиц изменяются в пределах от 0,15 мкм до 0,3 мкм. Последующая закалка стали способствовала образованию кристаллов мартенсита (рис. 2, б).

Высокоинтенсивная электронно-пучковая обработка в режиме плавления поверхностного слоя предварительно закаленной стали приводит к формированию градиентной многофазной структуры.

Слой, формирующийся в результате высокоскоростной кристаллизации (поверхностный слой толщиной не менее 5 мкм), характеризуется полным растворением субмикронных частиц карбида типа $M_{23}C_6$, присутствующих в стали исходного состояния; малым размером зерен α -фазы; наличием многофазной структуры ячеистого типа (рис. 2, в). В слое, расположенном на глубине ≈ 20 мкм (зона термического влияния), наблюдается контактное плавление объемов стали, содержащих субмикронные частицы карбида типа $M_{23}C_6$. Последующее высокоскоростное охлаждение материала сопровождается формированием структуры ячеистой кристаллизации, располагающейся в объеме слоя островками размерами от 0,5 мкм до 1,0 мкм.

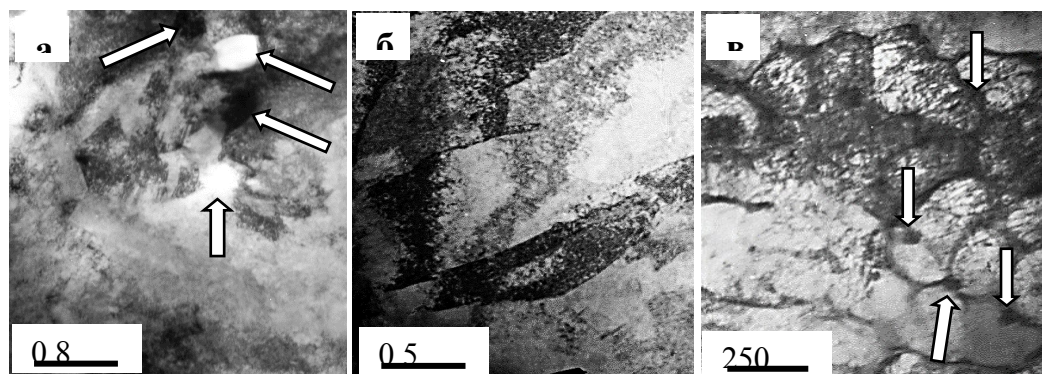


Рис. 2. Структура стали 20X13 перед (а, б) и после (в) облучения интенсивным импульсным электронным пучком. Стрелками на (а) и (в) указаны частицы карбида $M_{23}C_6$.

Заключение. Выполнен краткий термодинамический анализ фазовых превращений, имеющих место при термической обработке в системе Fe-Cr-C, являющейся основой стали 20X13. Показано, что в равновесных условиях в данном материале возможно формирование как твердых растворов на основе α -железа (ОЦК кристаллическая решетка) и γ -железа (ГЦК кристаллическая решетка), так и целого спектра карбидных фаз сложного элементного состава ($M_{23}C_6$, M_7C_3 , M_3C и M_3C_2 , где под символом М подразумеваются атомы металлических элементов Fe и Cr). Показано, что электронно-пучковая обработка стали в режиме плавления и последующей высокоскоростной кристаллизации сопровождается преобразованием структуры поверхностного слоя, заключающемся (1) в полном растворении частиц исходной карбидной фазы; (2) в формировании ячеек дендритной кристаллизации субмикронных размеров; (3) в повторном выделении наноразмерных частиц карбидной фазы.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 16-43-700659-р_а)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грибков В.А., Григорьев Ф.И., Калинин Б.А. др. Перспективные радиационно-пучковые технологии обработки металлов. – М.: Круглый стол, 2001. – 528 с.
2. Durand-Charre M. Microstructure of steels and cast irons. - Published by Springer Berlin Heidelberg. – 2004.