

**ЭЛЕКТРОННОМИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ДЕФЕКТОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЦЕМЕНТИТА.**

В. И. Сухомлин, к.т.н., доц., М. В. Трачук, студ.

Днепродзержинский государственный технический университет

Введение

Цементит является самой твердой и хрупкой фазой в составе углеродистых сталей. Но, не смотря на это, внешнее деформационное воздействие приводит к возникновению в цементите скоплений дислокаций, деформационных двойников и других дефектов кристаллического строения.

Ранее авторы [1, 2] исследовали реакцию цементита на пластическую деформацию стали в сочетании с температурным воздействием в широком температурном диапазоне. В работе [1] исследования проводили на тонких фольгах, а в работе [2] исследовали реплики с извлечением. Более поздние исследования, проведенные на углеродистых сталях при пониженных температурах распада аустенита (480-530 °С), показали, что в ферритной составляющей перлита концентрация углерода несколько выше равновесной (около 0,06% по массе) [3]. А несоответствие стехиометрического состава θ -фазы соединению Fe_3C приводит к повышению его дефектности: появлению дислокаций [4], планарных дефектов [5], микродвойников [6] и дефектов упаковки [7, 8].

Целью данной работы была оценка влияния температурно-временных параметров длительного отжига углеродистых сталей на процессы формирования дефектов кристаллического строения цементита в отсутствие предварительной пластической деформации.

Материал и методика исследований

Сталь У8 следующего химического состава: 0,83% С, 0,2% Мп, 0,25% Si исследовали методом дифракционной электронной микроскопии на приборе ЭМ-200 при ускоряющем напряжении 175 кВ. Образцы отжигали длительное время (100 часов) при субкритических температурах 680-700°С. После окончания термической обработки, образцы охлаждали с печью. Заготовки для дальнейшего препарирования образцов вырезали тонким (0,5 мм) отрезным диском при непрерывном охлаждении места реза проточной водой. Вырезанные заготовки утоняли на мелкозернистой шлифовальной бумаге до толщины 0,5 мм, затем подвергали химическому утонению до толщины 0,2 мм в растворе: перекись водорода – 50 мл., плавиковая кислота – 10 мл., вода 40 мл. Окончательное утонение методом Боллмана до толщины около 100 нм, достаточной для прохождения электронов, производили в электролите Мориса (уксусная кислота – 133 мл, хромовый ангидрид – 50 г, вода – 10мл), при напряжении на полировальной ячейке – 22-25В.

Результаты и их обсуждение

Формирование и рост дефектов кристаллического строения цементита происходит в процессе растворения и укрупнения частиц Fe_3C (при сфероидизации и коалесценции). Этот процесс контролируется диффузией атомов углерода, а его скорость во многом зависит от наличия дислокаций, полигональных стенок и

субграниц, формирующихся на разных стадиях длительного отжига. Растворение цементитной пластины на начальной стадии происходит на несовершенствах и дефектах (вакансиях и ансамблях вакансий, единичных дислокациях), возникших еще при зарождении и росте в составе перлитной колонии (рис. 1а, б).

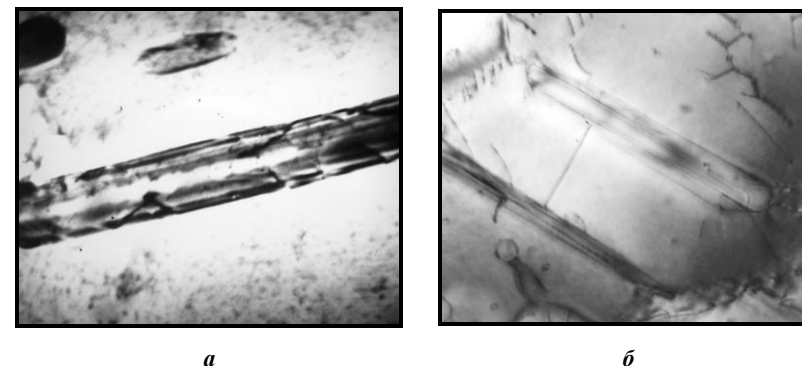


Рис. 1. Эрозия пластин цементита, тонкая фольга, а – $\times 40\,000$; б – $\times 35\,000$.

Скругление концов цементитных пластин вызывает появление веерообразных дислокационных формирований (рис. 2а, в) или дислокационных мостиков (рис. 3а, б; рис. 2а, б, в) которые способствуют ускорению диффузии углерода как по направлению к частице (при ее росте), так и от частицы (при ее растворении). После растворения частиц цементита остаются ансамбли зернограницных дислокаций на местах бывших межфазных границ. Из этих ансамблей формируются устойчивые дислокационные конфигурации с гексагональными ячейками (рис. 1б), то есть, полигональные стенки (рис. 3. а, б) и субграницы (рис. 3б). В отличие от процессов сфероидизации и коалесценции цементитных частиц после 30-минутного отжига [9], наши исследования, проведенные после более длительного отжига, не обнаружили выделений мелкодисперсных карбидов в ферритной матрице, которые, вероятно, являются одним из промежуточных этапов между сфероидизацией и коалесценцией.

Крупные дефекты в цементите могут быть результатом слияния нескольких частиц (рис. 4а, б) или образоваться в процессе роста существующего зародыша микродефекта, возникшего на стадии формирования перлитной колонии. Примером последнего служат субграницы в цементите (рис. 5а, б) и микродифракционная картина от них (рис. 5в), на которой видна азимутальная размытость рефлексов цементита. Дефекты упаковки в цементите (рис. 6а, б) дают характерные тяжи на рефлексах цементита соответствующей микродифракционной картины (рис. 6в).

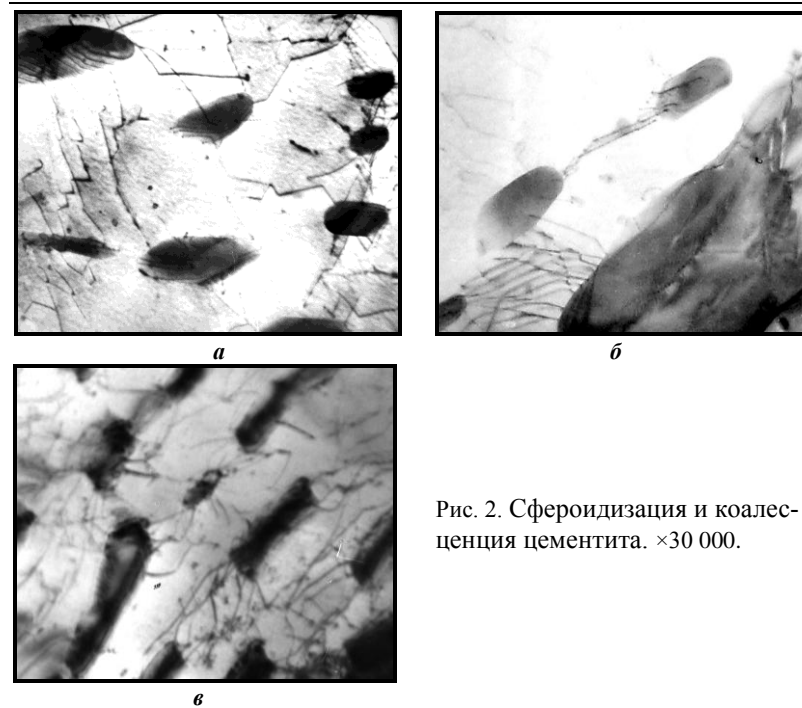


Рис. 2. Сфероидизация и коалесценция цементита. $\times 30\ 000$.

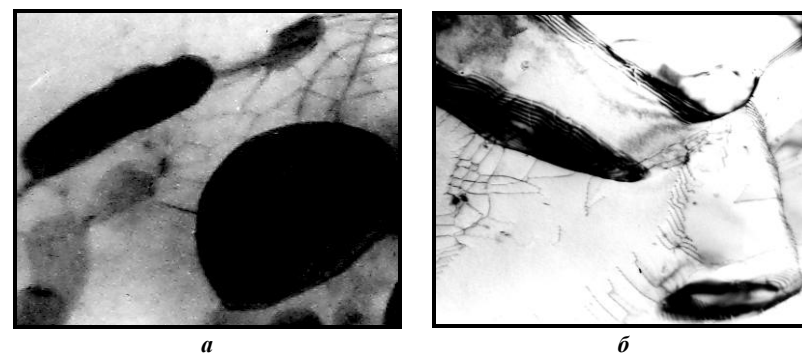


Рис. 3. Полигонизация в феррите: *a* – $\times 35\ 000$; *б* – $\times 30\ 000$.

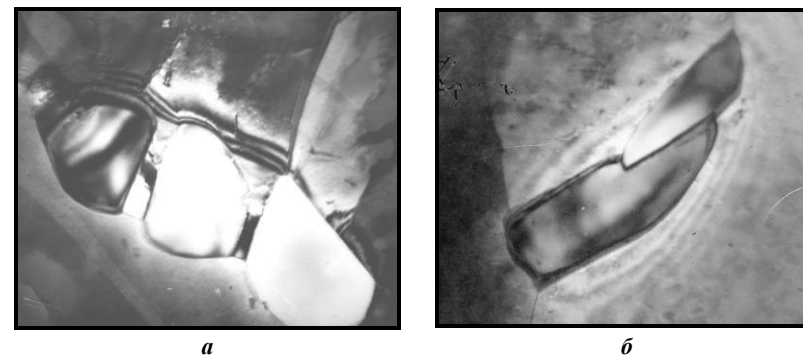


Рис. 4. Большеугловые границы в цементите. *a* – $\times 40\,000$; *б* – $\times 35\,000$.

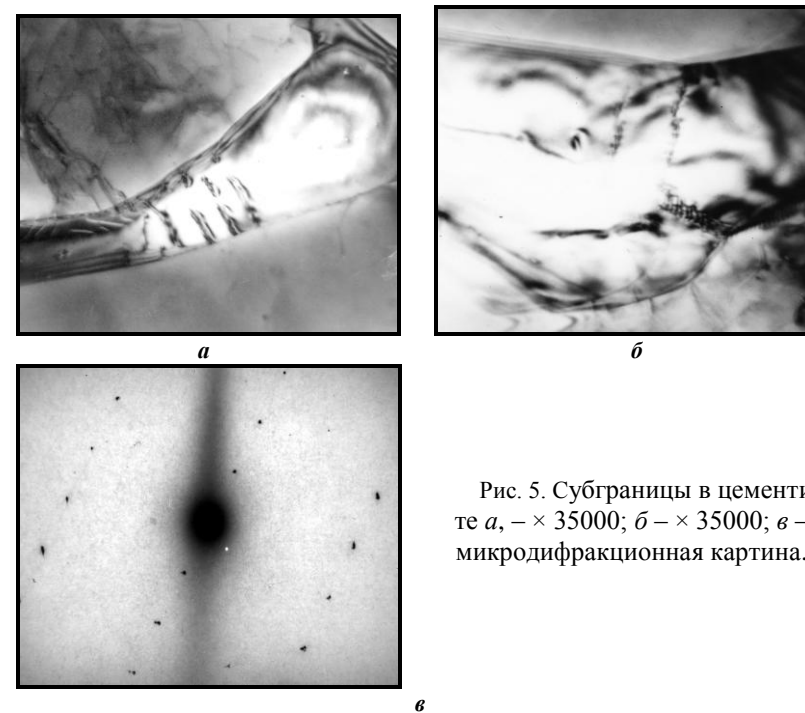


Рис. 5. Субграницы в цементите *a*, – $\times 35\,000$; *б* – $\times 35\,000$; *в* – микродифракционная картина.

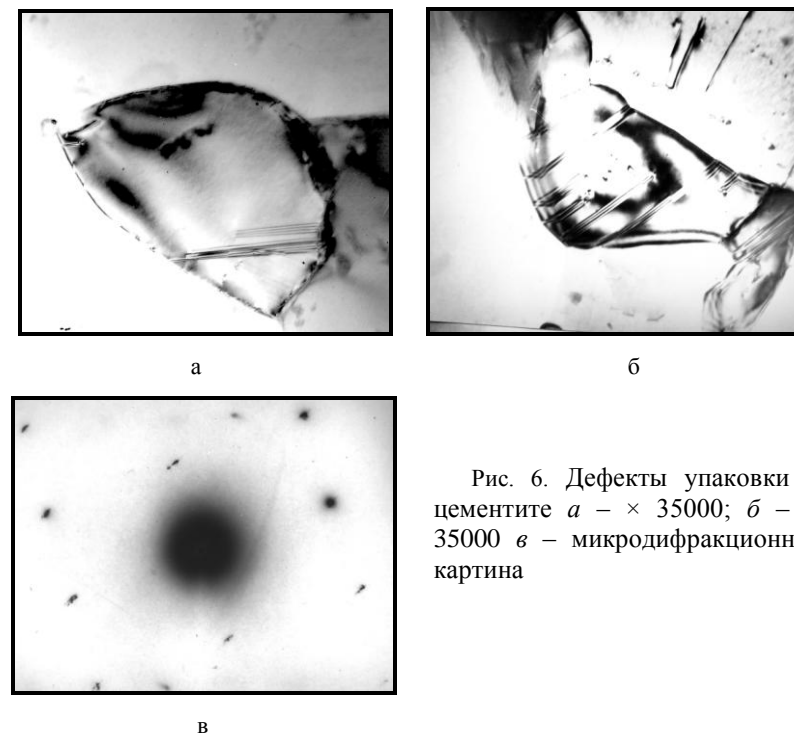


Рис. 6. Дефекты упаковки в цементите *a* – $\times 35000$; *б* – $\times 35000$ *в* – микродифракционная картина

Выводы

1. Формирование полигональных стенок и субграниц в феррите на месте бывших перлитных колоний происходит из-за наличия зернограницных дислокаций на межфазной границе феррит-цементит.
2. При длительном (100 часов) отжиге перлита углеродистых сталей не обнаружены мелкодисперсные выделения цементитных частиц в ферритной матрице.
3. Рост цементитных частиц в процессе сфероидизации и коалесценции значительно ускоряют дислокационные формирования веерообразного типа и в виде мостиков между частицами.
4. Образование крупных дефектов кристаллического строения (дефектов упаковки, двойников) в цементите происходит в процессе роста на су-

ществующих дефектах цементитных пластин в перлите, либо в процессе слияния двух или более частиц цементита.

Список использованной литературы

1. Keh A.S. Imperfections and plastic deformation of cementite in steel // Acta metallurgica. 1963, Vol.11, №9. P. 1101-1103.
2. Maurer K., Warrington D.H. Deformation of cementation // Philosophical Magazine. 1967, Vol.15, Issue 134. P.321-327.
3. Счастливец В.М., Яковлева И.Л., Мирзаев Д.А. Структурные превращения в перлите при нагреве. I. Твердорастворное упрочнение ферритной составляющей перлита // ФММ. 1994. Т. 77. Вып. 4. С. 138-147.
4. Макаров А.В., Счастливец В.М., Горкунов Э.С., Табатчикова Т.И., Коган Л.Х., Колобылин Ю.М., Задворкин С.М., Хлебникова Ю.В., Яковлева И.Л., Гаврилова Л.Д., Соломеин М.Н. Возможности неразрушающего контроля физико-механических характеристик заэвтектидных углеродистых сталей со структурами изотермического распада аустенита // Дефектоскопия. 2002. № 10. С. 62-86.
5. Тушинский Л.И., Батаев А.А., Тихомирова Л.Б. Структура перлита и конструктивная прочность стали. Новосибирск: Наука, 1993. 280 с.
6. Яковлева И.Л., Карькина Л.Е., Хлебникова Ю.В., Счастливец В.М. Кристаллографический анализ дефектов в цементите пластинчатого перлита углеродистой стали // ФММ, 2001, Т. 92, вып. 3. С. 77-88.
7. Томас Г. Электронная микроскопия металлов. М.: Иностран. лит., 1963. 347 с.
8. Tian Y.L., Krafft R.W. Mechanism of Pearlite Spheroidization // Metallurgical Transactions. 1987. V. 18A. № 8. P. 1403-1414.
9. Яковлева И.Л., Карькина Л.Е., Хлебникова Ю.В. Кристаллографические особенности коагуляции цементита при отжиге перлита углеродистой стали. //Металлофизика и новейшие технологии. 2009. Т. 31, №1 С. 65-79.